GONGLU JIANSHE BAIWEN CONGSHU

公路建设百问丛书

隧道设计与施工百问

SUIDAO SHEJI YU SHIGONG BAIWEN

李宁军　曹文贵　刘　生　编著



人民交通出版社
China Communications Press

责任编辑：曲 乐
王 霞 卓乐礼
徐 征 张瑞刚
封面设计：彭小秋



SUIDAO SHEJI YU SHIGONG BAIWEN

公路建设百问丛书

1.公路设计百问			李 嘉	主编
2.桥梁设计百问			邵旭东	主编
3.路基路面施工百问		支喜兰	沙爱民	主编
4.桥梁施工百问	刘吉士	张俊义	陈亚军	编
5.桥梁检测与维修加固百问			徐 钟	编著
6.桥梁预应力技术百问			李国平	主编
7.隧道设计与施工百问	李宁军	曹文贵	刘 生	编著
8.公路建设管理知识百问			杨 琦	主编
9.公路工程概预算百问			邢凤岐	主编
10.公路施工项目管理知识百问			廖正环	主编
11.公路工程质量问题及防治措施百问			王国清	主编

ISBN 7-114-04935-8

9 787114 049354 >

ISBN 7-114-04935-8
定价：27.00元

GONGLU JIANSHE BAIWEN CONGSHU

公路建设百问丛书

隧道设计与施工百问

SUIDAO SHEJI YU SHIGONG

李宁军 曹文贵 编著

人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书分为设计篇和施工篇两部分，主要针对近年来公路隧道建设中常见的重点和难点问题，结全现行公路和铁路隧道设计施工规范和有关国家标准，以问答形式做了全面详细的介绍。另外，对隧道设计与施工中的新理论、新工艺和新技术也做了一定介绍。

本书主要供从事公路隧道设计、施工以及管理的技术人员使用，也可供相关专业在校师生参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

隧道设计与施工百问/李宁军，曹文贵，刘生编著.
北京：人民交通出版社，2004.1
ISBN 7-114-04935-8

Ⅰ.隧… Ⅱ.①李…②曹…③刘… Ⅲ.①隧道工程-设计-问答②隧道工程:工程施工-问答
Ⅳ.U45-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 001296 号

隧道设计与施工百问

李宁军 曹文贵 刘生 编著

正文设计：彭小秋 责任校对：尹 静 责任印制：杨柏力

人民交通出版社出版发行

（100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602）

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：12.625 字数：321 千

2004 年 1 月 第 1 版

2004 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数：0001～5000 册 定价：27.00 元

ISBN 7-114-04935-8

《公路建设百问丛书》
出版说明

十五期间，交通基础设施建设尤其是公路建设仍将快速发展，培养与造就一支高水平、高素质的公路施工队伍，是确保公路建设质量的关键。虽然目前公路建设市场相当活跃，公路建设大军也不断壮大，但广大公路从业人员的技术水平却是参差不齐，既有需要普及公路基本知识的，也有需要进一步提高的，而他们面临的共同问题都是：工期紧、任务重，无暇阅读大量书籍来提高自己。为了解决这一矛盾，提高从业人员的技术水平，解决他们在工作中面临的实际问题，保证公路建设质量，我社特邀请一批既有丰富实践经验又有较高理论水平的专家学者，编写一套适合工程一线人员阅读的《公路建设百问丛书》。该丛书采用一问一答的形式，把广大工程技术人员在工作中经常遇到的重点、难点、疑点问题分门别类地罗列出来，一一予以解答。其主要特点是针对性强、形式自由，读者可带着问题翻阅、迅速找到答案或得到启发，既节省时间，又增长才干，并可在较短时间内成长为岗位能手。本套丛书主要供公路建设一线的技术人员和管理人员阅读，先期拟推出以下十一个分册：

1.公路设计百问　李　嘉 主编

2.桥梁设计百问　邵旭东 主编

3.路基路面施工百问　支喜兰　沙爱民 主编

4.桥梁施工百问　刘吉士　张俊义　陈亚军　编

5.桥梁检测与维修加固百问　徐　犇 编著

6.桥梁预应力技术百问　李国平 主编

7.隧道设计与施工百问　李宁军　曹文贵　刘生编著

8.公路建设管理知识百问　杨琦 主编

9.公路工程概预算百问　邢凤岐 主编

10.公路施工项目管理知识百问　廖正环 主编

11.公路工程质量问题及防治措施百问　王国清 主编

相信本套丛书的出版，定会受到公路从业人员的欢迎，我们也将逐步补充完善，使之成为大家工作中的好帮手。

2004 年 1 月

前　言

近年来，由于我国公路建设的快速发展，尤其是公路不断向山区延伸，公路隧道建设工程急剧增多。隧道工程设计与施工水平得到很快提高，出现了很多新的先进的设计方法与施工技术。同时，一大批反映公路隧道工程学科的新理论、新成就的科技图书与读者见面，但目前尚缺少与之相应的解答疑难问题的参考书，这种参考书虽不能完整而全面的阐述基本理论、设计方法和施工技术，但由于是以问答形式编著，针对性强，查阅方便，特别适用于公路隧道工程设计与施工技术人员使用，同时也适用于相关专业高年级大学生与研究生作为参考书。

为帮助读者有针对性地了解近年来我国公路隧道工程方面的发展水平、设计知识和施工技术，提高分析问题和解决问题的能力，我们编写了这本《隧道设计与施工百问》。

本书分两篇，即设计篇与施工篇两大部分，对公路隧道设计与施工方面知识做了全面和较详细的介绍，并对一些新理论、新工艺和新技术也做了介绍。

本书设计篇由湖南大学岩土工程研究所曹文贵博士编著，施工篇由长安大学公路学院李宁军和刘生合编，其中施工篇第一章、第四章、第五章、第六章、第七章、第十章由李宁军编写，第二章、第三章、第八章、第九章由刘生编写。

在本书编写中，我们虽力求通俗易懂，准确性、科学性兼顾，但由于本书题量大，涉及面广，实践性强，加上时间仓促和编者水平有限，错误和不当之处在所难免，恳切希望读者给予批评指正，以便不断修正和提高。

作　者

2004 年 1 月

目　　录

设 计 篇

第一章　绪　　论

1.隧道的基本概念及其分类方法是什么？ …… 3
2.公路隧道分类的依据与分类方法是什么？ …… 5
3.公路隧道设计应该遵循哪些有关国家规范、规定与要求？ …… 5
4.公路隧道勘测设计文件的主要内容是什么？ …… 6

第二章　公路隧道的勘察设计

5.公路隧道勘察设计的基本阶段如何划分？它们的主要内容是什么？ …… 9
6.公路隧道勘察的主要方法及其主要内容是什么？ …… 10
7.公路隧道地质勘探的常用主要手段及其主要内容是什么？ …… 13
8.公路隧道水文地质勘察的基本内容是什么？ …… 14
9.公路隧道建筑环境保护与防治的基本内容是什么？ …… 17
10.公路隧道工程周围环境现状调查的基本内容是什么？ …… 18
11.公路隧道环境保护的基本措施是什么？ …… 19
12.公路隧道设计工程调查的基本内容是什么？ …… 21
13.公路隧道围岩分类因素与指标及其分类方法是什

么？ …… 22
14.如何根据隧道围岩分类确定公路隧道设计的围岩物理力学参数与指标？ …… 27

第三章　公路隧道总体设计

第一节　公路隧道总体设计 …… 29
15.公路隧道总体设计的基本原则是什么？ …… 29
16.公路隧道选址的基本原则是什么？ …… 30
17.如何确定公路隧道的位置或如何进行公路隧道选址？ …… 30
18.公路隧道洞口位置选择的一般原则与基本要求是什么？ …… 35
第二节　公路隧道的几何设计 …… 37
19.公路隧道平曲线设置存在什么基本要求？ …… 37
20.公路隧道纵曲线设置的基本要求是什么？ …… 38
21.公路隧道引线设计需注意的问题是什么？ …… 39
22.公路隧道净空及建筑限界的含义是什么？ …… 41
23.各级公路隧道建筑限界的基本宽度如何选取？ …… 41
24.公路隧道横断面设计除应符合隧道建筑限界的规定外，还应考虑哪些因素？ …… 43
25.单行隧道与双行隧道如何设置？双行隧道的间距如何选取？ …… 44
26.公路隧道接线应该满足什么基本要求？ …… 45
第三节　衬砌内轮廓线及几何尺寸的拟定 …… 46
27.公路隧道设计断面基本轮廓线有哪些？各基本轮廓线的含义是什么？ …… 46
28.如何用作图法确定公路隧道圆形断面内轮廓线？ …… 47
29.如何用作图法确定公路隧道直墙式衬砌断面内轮廓线？ …… 48
30.如何用作图法确定公路隧道曲墙式衬砌

断面内轮廓线？ …… 49
31.公路隧道衬砌断面几何尺寸确定的
基本方法是什么？ …… 50
32.公路隧道衬砌结构图形确定的原则是什么？ …… 53
33.公路隧道衬砌结构各部分结构主要尺寸初步拟定的
基本原则是什么？ …… 54
34.公路隧道装配式衬砌构造的目的与原则是什么？ …… 55

第四章　公路隧道的结构与构造

第一节　洞身衬砌 …… 56
35.公路隧道洞身衬砌存在哪些基本类型？
它们的适用条件是什么？ …… 56
36.公路隧道衬砌设计存在什么基本原则与要求？ …… 61
37.公路隧道在什么情况下采用锚喷衬砌？
什么情况下不宜采用锚喷衬砌？ …… 62
38.公路隧道复合式衬砌设计应考虑哪些问题？ …… 64
39.公路明洞衬砌设计时应注意的基本问题是什么？ …… 64
40.通过不良地质和特殊围岩的公路隧道衬砌应遵循
哪些基本原则？ …… 65
41.滑坡区公路隧道衬砌设计应该注意的基本
问题是什么？ …… 65
42.黄土地层的公路隧道衬砌设计应注意什么问题？ …… 66
43.穿越溶洞的公路隧道设计存在哪些问题？ …… 67
44.瓦斯地区公路隧道衬砌设计中防瓦斯的
基本措施是什么？ …… 67
45.公路隧道采用整体式深埋衬砌时应
遵循什么规定？ …… 68
第二节　洞口与洞门 …… 69
46.公路隧道常见的洞门形式有哪些？
它们的适用条件是什么？ …… 69

47.公路隧道洞口设施应具备什么基本要求？ …… 72
48.公路隧道洞门构造及基础设置存在什么要求？ …… 72
第三节　明洞 …… 73
49.明洞的基本含义是什么？如何考虑设置明洞？ …… 73
50.明洞存在哪些基本结构类型？
如何选择明洞的结构类型？ …… 73
51.明洞基础设置的基本要求是什么？ …… 74
52.明洞顶部设计填土厚度如何确定？ …… 75
53.明洞拱背和墙背的回填应符合什么要求？ …… 76
第四节　内装、顶棚及路面 …… 77
54.公路隧道内装及内装材料的基本要求是什么？ …… 77
55.公路隧道顶棚设计应该注意哪些基本问题？ …… 79
56.公路隧道路面设计应该注意哪些基本问题？ …… 79
57.公路隧道行车道两侧设置路缘带与余宽的
目的与要求是什么？ …… 80
58.公路隧道内设置紧急停车带(加宽带)和错车道
的目的和基本要求是什么？ …… 81
59.公路隧道人行道如何设置？ …… 82
60.公路隧道内行车道路面采用什么路面结构？
路面设计的基本原则与依据是什么？ …… 82

第五章　公路隧道建筑材料

61.公路隧道建筑材料选用的基本要求是什么？ …… 84
62.公路隧道工程各建筑部分建筑材料选用情况如何？ …… 84
63.公路隧道砌体和混凝土所用工程材料的
基本要求是什么？ …… 86
64.公路隧道锚喷支护所采用的建筑材料存
在什么基本要求？ …… 86
65.公路隧道内路面材料存在什么基本要求？ …… 87
66.公路隧道所用建筑材料的基本物理力学性质

指标的选用情况如何？ …… 88

第六章　公路隧道结构计算

第一节　围岩压力计算 …… 91
67.如何确定深埋公路隧道围岩压力？ …… 91
68.如何确定浅埋公路隧道围岩压力？ …… 94
69.如何利用隧道压力平衡拱理论确定围岩压力？ …… 97
70.如何利用泰沙基理论确定公路隧道围岩压力？ …… 99
71.我国公(铁)路隧道推荐围岩压力计算方法的
基本内容是什么？ …… 100
第二节　隧道计算的荷载类型及组合 …… 100
72.隧道结构体系的计算模型及其基本内容是什么？ …… 100
73.公路隧道设计时所考虑的荷载类型及其组合
情况如何？ …… 103
74.明洞设计时，荷载组合设计应满足什么基本要求？ …… 105
第三节　衬砌的计算 …… 106
75.公路隧道半衬砌设计计算的基本内容是什么？
半衬砌计算的基本方法如何？ …… 106
76.公路隧道曲墙式衬砌设计计算的基本内容是什么？
曲墙式衬砌计算的基本方法如何？ …… 113
77.公路隧道直墙式衬砌设计计算的基本内容是什么？
直墙式衬砌计算的基本方法如何？ …… 119
78.如何进行衬砌结构截面强度的校核验算？ …… 126
79.如何计算整体式衬砌计算构件的截面强度？ …… 128
80.如何计算整体式衬砌弹性抗力？ …… 128
81.锚喷衬砌和复合式衬砌的初期支护设计计算方法如何？
其初期支护的允许洞周水平相对收敛值如何选取？ … 129
82.公路隧道结构设计中，对于刚架和截面厚度大的超静定
结构，如何进行温度计算？ …… 129
83.公路隧道钢筋混凝土受弯和受压偏心构件的截面

最小配筋率如何选取？ …… 130
84.如何计算明洞衬砌构件的截面强度？当墙背围岩对边墙变形有约束作用时，如何考虑弹性抗力的影响？ …… 131
85.如何进行公路隧道(包括明洞)洞门设计计算？钢筋混凝土洞门截面的最小配筋率如何选取？ …… 131
86.承载的隧道建筑物各部结构截面的最小厚度应该如何选取？ …… 132
87.锚喷衬砌及复合式衬砌初期支护设计参数如何选取？ …… 132
88.钢筋混凝土构件中受力钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合什么规定？ …… 134

第七章　公路隧道的防水与排水

89.公路隧道防排水设计的基本原则是什么？ …… 136
90.公路隧道防排水设计的基本措施是什么？ …… 136
91.公路隧道防水的基本方法与措施是什么？ …… 141
92.如何进行公路隧道洞内排水设计？ …… 141
93.公路隧道围岩疏导排水设计应该遵循什么规定？ …… 143
94.当公路隧道洞内水质有侵蚀性时，应如何处理？ …… 144
95.公路隧道内设置排水沟的基本条件是什么？ …… 144
96.公路隧道洞口防排水设计应该满足什么基本要求？ … 145
97.明洞防排水设计应注意什么问题？ …… 145
98.公路隧道洞内防排水的基本要求是什么？ …… 146

第八章　公路隧道通风、照明与供电

99.公路隧道通风设计应考虑哪些基本因素？ …… 147
100.公路隧道内空气中影响行车安全的有害物浓度的容许标准值如何选取？ …… 148
101.如何选取公路隧道通风方式？ …… 148

102.公路隧道通风量如何计算？ …… 151
103.公路隧道机械通风设计应注意的基本问题
是什么？ …… 153
104.如何选择机械通风公路隧道的通风机？ …… 154
105.公路隧道各区段设计亮度如何选取？ …… 156
106.公路隧道的照明标准是什么？ …… 157
107.不设灯光照明的公路隧道需要采取什么措施？ …… 157
108.公路隧道内其它照明应满足什么要求？ …… 158
109.为了保持公路隧道洞口外低亮度，可采取
什么措施？ …… 158
110.如何选择公路隧道照明光源及灯具？ …… 159
111.如何布置公路隧道的照明器？ …… 160
112.公路隧道供电系统设计的基本要求是什么？ …… 160

第九章　公路隧道营运管理设施

113.公路隧道营运管理设施设置的基本原则
是什么？ …… 162
114.公路隧道内动力电缆选用的基本要求是什么？ …… 162
115.公路隧道电缆槽布设应该遵循什么规定？ …… 162
116.公路隧道电缆及电缆槽铺设应满足什么要求？ …… 163
117.公路隧道内供维修和养护作业用的电力插座
如何设置？ …… 163
118.公路隧道内管理及其设施的设置存在
什么基本要求？ …… 163
119.公路隧道内应设置哪些主要标志性建筑物？ …… 164
120.公路隧道内设置哪些救援设施？ …… 164
121.公路隧道内应设置哪些消防设施？存在什么
基本要求？ …… 165
122.公路隧道内除设置常规营运管理设施外，还应设置
一些什么其它设施？ …… 166

123.公路隧道设计对噪声的基本要求是什么？ …… 167

施 工 篇

第一章 施 工 计 划

第一节 施工计划的编制 …… 171
1.编制隧道施工计划的目的是什么？ …… 171
2.编制隧道施工计划的要点和程序是什么？ …… 172
3.编制隧道施工计划时要研究哪些主要事项？ …… 172
4.隧道施工计划文件如何组成？ …… 175
5.编制洞口场地平面布置图有哪些注意事项？ …… 177
6.隧道施工计划编制前要作好哪些工作？ …… 180
7.减少洞口施工干扰、争取施工场地的措施有哪些？ …… 183
8. 房屋选址和布置应考虑哪些因素？ …… 184
第二节 施工计划的指标 …… 185
9.隧道施工综合指标是什么？ …… 185
10.何谓隧道综合成洞工天和使用工天？ …… 186
11.隧道施工人数怎样确定？ …… 189
12.隧道施工机械怎样配置？ …… 189
13.隧道施工主要材料消耗量如何估计？ …… 192
第三节 施工计划的变更 …… 195
14.施工计划变更的前提是什么？ …… 195
15.施工计划变更一般包括哪些方面？ …… 195

第二章 安 全 卫 生 管 理

第一节 安全卫生管理体制 …… 197
16.安全卫生管理体制怎样构成？ …… 197
17.安全卫生管理体制成员的职责是什么？ …… 198
18.安全卫生管理体制中承包人的责任是什么？ …… 200

19.在安全卫生管理体制中承包人应采取哪些措施? …… 200
第二节 安全卫生管理内容 …… 201
20.施工设备管理应采取什么安全措施? …… 201
21. 劳动卫生管理应采取哪些对策? …… 205
22.作业环境测定哪些项目? …… 210
23.对隧道作业人员有怎样的选配要求? …… 210
24.隧道施工作业人员须周知哪些事项? …… 212
25.火药类如何安全管理? …… 213
26.哪些隧道施工场所需采取禁止入内措施? …… 216
第三节 安全卫生管理活动 …… 217
27.如何制定安全卫生管理计划? …… 217
28.怎样做到安全卫生管理得以全面贯彻执行? …… 218
29.隧道施工经常性的安全检查有哪些? …… 222

第三章 环境保护

第一节 隧道周边环境 …… 224
30.隧道施工影响周边环境应如何对待? …… 224
31.根据工程对周边环境的影响可采取什么对策? …… 225
32.怎样防止对公众伤害的发生? …… 227
第二节 洞内作业环境 …… 228
33.建立怎样的洞内作业环境管理体制? …… 228
34.如何对洞内作业环境进行管理? …… 228
35.需施工通风的作业场所有哪些? …… 230
36.为什么洞内照明需确保充分的亮度? …… 231
37.如何降低粉尘对从业人员的危害? …… 232
38.降低噪音危害的对策有哪些? …… 232
39.降低振动的对策有哪些? …… 233

第四章 施工测量

第一节 隧道测量要求 …… 234

40.隧道平面控制测量精度要求如何？ …… 234
41.隧道洞内高程控制测量有哪些要求？ …… 235
42.隧道控制测量需注意哪些事项？ …… 236
第二节　洞内测量方法 …… 238
43.洞内导线布设的一般要求是什么？ …… 238
44.洞内导线的一般布设形式是怎样的？ …… 238
45.洞内导线测角有什么要求？ …… 239
46.洞内施工中线测量有哪些方法？ …… 239
47.曲线隧道中线侧移如何计算？ …… 240
48.竖井联系测量有哪些规定？ …… 242
49.竖井联系测量进行哪些主要步骤？ …… 242
50.洞内施工水准测量有哪些要求？ …… 245
51.洞内高程传递有哪些方法？ …… 246
52.何为光电测距仪高程导入法？ …… 247
第三节　贯通误差调整方法 …… 247
53.导线法贯通误差怎样调整？ …… 247
54.中线法贯通误差怎样调整？ …… 248
55.高程贯通误差怎样调整？ …… 250

第五章　施工掘进

第一节　隧道开挖 …… 251
56.如何选择开挖方式？ …… 251
57.如何选择开挖方法？ …… 251
58.隧道开挖时需进行哪些观察？ …… 253
59.编制爆破计划有哪些注意事项？ …… 253
60.爆破钻孔应注意什么？ …… 254
61.爆破装药应注意什么？ …… 255
62.爆破作业应注意什么？ …… 256
63.凿岩爆破参数怎样确定？ …… 257
64.掏槽炮眼深度怎样确定？ …… 261

65.直眼掏槽有哪些形式？ …… 261
66.斜眼掏槽有哪些形式？ …… 262
67.直眼掏槽与斜眼掏槽各有哪些特点？ …… 263
68.对光面爆破效果有哪些要求？ …… 263
69.如何尽量减少爆破超挖量？ …… 264
70.怎样防止剥落、冒顶？ …… 265
71.掌子面稳定有哪些对策？ …… 266
72.选择开挖机械应注意什么？ …… 267
73.机械开挖需注意哪些事项？ …… 268
第二节　石碴处理 …… 268
74.如何编制石碴处理计划？ …… 268
75.装碴作业注意事项有哪些？ …… 269
76.洞内运输方式的选择应考虑哪些因素？ …… 269
77.洞内运输对道路及轨道有什么要求？ …… 270
78.关于石碴处理机械选型有哪些考虑？ …… 272
79.运输作业如何组织管理？ …… 272
80.洞内运输作业应注意哪些事项？ …… 273

第六章　支护村砌

第一节　喷射混凝土作业 …… 275
81.如何选定喷射方式？ …… 275
82.对喷射作业前的准备工作有哪些要求？ …… 276
83.对喷射面的处理有哪些要求？ …… 276
84.对喷射作业的要求有哪些？ …… 277
85.预防和处理堵管故障有哪些措施？ …… 278
86.喷射作业中需注意哪些安全事项？ …… 279
87.喷射作业中有哪些防尘措施？ …… 279
88.壁面有涌水怎样喷射混凝土？ …… 280
第二节　锚杆、钢支撑作业 …… 281
89.锚杆作业工艺不良有哪些影响？ …… 281

90.对锚杆钻孔有什么要求？ …… 281
91.对锚杆质量有什么要求？ …… 282
92.选用锚杆类型依据什么？ …… 282
93.锚杆施工的基本要点是什么？ …… 283
94.对钢拱支撑施工有什么要求？ …… 284
第三节 衬砌作业 …… 284
95.对衬砌模板有何要求？ …… 284
96.用模板台车衬砌时有哪些事项需注意？ …… 286
97.模板移动安装常出现哪些问题？ …… 287
98.防止衬砌混凝土缺陷的对策？ …… 288
99.仰拱混凝土作业有哪些要求？ …… 289
100.隧道铺底作业的注意事项有哪些？ …… 289

第七章 防水排水

第一节 防排水施工 …… 290
101.防水作业的要点是什么？ …… 290
102.洞内水沟作业需注意哪些事项？ …… 291
103.防冻水沟施工需注意什么？ …… 291
104.衬砌背后排水沟管施工需注意什么？ …… 292
第二节 施工排水 …… 293
105.隧道施工防水排水有什么基本要求？ …… 293
106.洞口防排水需做哪些方面工作？ …… 293
107.隧道施工排水有哪些方式？ …… 294
108.选择水泵及管道时如何计算？ …… 295
109.截排水坑道设置有什么要求？ …… 297
110.如何进行超前钻孔探排水？ …… 297
111.怎样进行井点降水？ …… 298
112.怎样进行深井抽水？ …… 299
113.怎样进行斜井排水？ …… 300
114.怎样进行竖井排水？ …… 301

115.竖井注浆堵水有哪些方式？ …… 302
116.怎样处理施工期间井帮淋水及涌水？ …… 303
第三节　注浆堵水 …… 303
117.开挖前注浆堵水有什么方法？ …… 303
118.注浆故障有什么处理方法？ …… 304
119.检查注浆质量有什么方法？ …… 306
120.洞内预注浆作业有哪些需注意事项？ …… 306
121.如何确定注浆参数？ …… 308
122.依据什么选择注浆材料？ …… 311
123.常用注浆液有何特点？ …… 312

第八章　施 工 管 理

第一节　质量管理 …… 315
124.喷射混凝土施工质量如何管理？ …… 315
125.锚杆施工质量如何管理？ …… 318
126.混凝土衬砌施工质量如何管理？ …… 319
127.防排水施工质量如何管理？ …… 320
第二节　施工监测 …… 320
128.施工监测有怎样的地位和作用？ …… 320
129.施工监测包括哪些项目？ …… 321
130.何为洞内观察的要点？ …… 323
131.地表下沉量测的要点有哪些？ …… 324
132.净空变化量测和拱顶下沉量测有哪些控制要点？ …… 325
133.围岩稳定性有何判别标准？ …… 327
134.量测计划怎样制定？ …… 328
135.观察、量测项目怎样选定？ …… 329
136.如何做好施工监测管理？ …… 330
137.观察作业有哪些内容？ …… 331
138.选定量测位置的要点是什么？ …… 332
139.观察、量测结果如何整理？ …… 333

140.观察、量测结果在设计、施工中如何反映？ …… 334
141.评价量测结果时应注意哪些事项？ …… 334

第九章 临时设备

第一节 污水处理设备 …… 336
142.如何确定污水处理设备？ …… 336
143.怎样管理污水处理？ …… 336
第二节 施工通风 …… 337
144.有害气体对人体有怎样的危害？ …… 337
145.有害物质的产生量怎样确定？ …… 339
146.如何推算施工所需通风量？ …… 340
147.如何选择通风方式？ …… 342
148.如何选择通风机风？ …… 345
第三节 临时电气设备 …… 346
149.临时电气设备计划有哪些要点？ …… 346
150.临时电气设备移设有哪些事项需注意？ …… 347

第十章 特殊工法

第一节 斜井、竖井、洞口施工 …… 348
151.斜井由哪些部分组成？ …… 348
152.井底车场布置有哪些注意事项？ …… 349
153.斜井井口车场如何布置？ …… 349
154.斜井施工有哪些要点？ …… 351
155.斜井施工的安全设施有哪些？ …… 352
156.竖井由哪些部分组成？ …… 352
157.竖井与隧道的连接及井底车场如何布设？ …… 353
158.竖井施工有哪些特点？ …… 355
159.竖井提升及悬吊设备如何计算选择？ …… 356
160.竖井施工应有哪些安全设施？ …… 360
161.洞口施工计划的实施有哪些原则？ …… 361

162.洞口施工有哪些施工方法？ …… 361
163.保证洞口施工安全的对策有哪些？ …… 362
164.洞口段施工要点有哪些？ …… 362
第二节　特殊施工方法 …… 363
165.稳定掌子面的对策有哪些？ …… 363
166.松散地层隧道施工有何方法？ …… 365
167.在松散地层中如何用超前支护法施工？ …… 365
168.如何控制注浆加固法的注浆数量？ …… 367
169.震松法施工有哪些辅助措施和注意事项？ …… 367
170.松散围岩分部开挖有几种施工方法？ …… 368
171.松散围岩分部开挖需注意哪些事项？ …… 369
172.断层隧道段如何施工？ …… 370
173.断层隧道段施工作业应注意哪些事项？ …… 371
174.遇溶洞隧道怎样施工？ …… 371
175.岩溶地段隧道施工有哪些注意事项？ …… 373
176.黄土隧道施工受到哪些不利影响？ …… 373
177.黄土隧道施工要注意哪些事项？ …… 374
178.隧道发生岩爆有何特点？ …… 375
179.岩爆地段隧道施工有哪些注意事项？ …… 375
180.造成隧道坍方的因素有哪些？ …… 376
181.隧道坍方有哪些征兆和预防措施？ …… 377
182.处理隧道坍方需采取怎样的步骤？ …… 378
183.坍穴处理有哪些常用的方式？ …… 378
184.隧道坍方段怎样衬砌与回填？ …… 379

参考文献 …… 381

设计篇

SHEJIPIAN

第一章 绪 论

1.隧道的基本概念及其分类方法是什么?

答:隧道通常指用作地下通道的工程建筑物 。1970 年,OECD(世界经济合作与发展组织)隧道会议从技术方面将隧道定义为:以任何方式修建,最终使用于地表以下的条形建筑物,其空洞内部净空断面在 $2m^2$ 以上者均为隧道。从这个定义出发,隧道包括的范围很大。从不同的角度划分,就有不同的分类方法。下面介绍几种常见的分类方法:

(1)按隧道所处的地层条件划分,主要包括:岩石隧道或石质隧道、软土隧道或土质隧道。

(2)按隧道埋置的深度划分,主要包括:浅埋隧道、深埋隧道。隧道的埋置深度不同,施工与设计的方法也不相同,浅埋隧道一般采用明挖法施工,深埋隧道多采用暗挖法施工。

(3)按隧道所处地理位置划分,主要包括:山岭隧道、水底隧道、城市隧道。

(4)按隧道的用途进行分类是隧道分类方法中最为常见的一种。可以将隧道分为以下几类:

①交通隧道。这是隧道中为数最多的一种,它们的作用是提供运输的孔道和通道。其中主要包括:铁路隧道、公路隧道、水底隧道、地下铁道、航运隧道、人行地道。

②水工隧道。它是水利枢纽的一个重要组成部分。根据其作用不同,又可分为以下几种:

a.引水隧道:它把水引入水电站的发电机组,产生动力资源。引水隧道有的内部充水而内壁承压,有的只是部分过水,因而内部

只受大气压力而无水压力。分别称为有压隧道和无压隧道；

b.尾水隧道：它是把发电机组排出的废水送出去的隧道；

c.导流隧道或泄洪隧道：由它疏导水流，并补充溢流道流量超限后的泄洪作用；

d.排沙隧道：用来冲刷水库中淤积的泥沙，把泥沙裹带送出水库。有时也用来放空水库里的水，以便进行库身检查或修理建筑物。

③市政隧道。它是城市中为安置各种不同市政设施的地下孔道，主要包括如下几种类型：

a.给水隧道：城市自来水管网遍布市区，必须有地下的孔道来容纳安置这些管道，既不占用地面，也可避免遭受人为损坏；

b.污水隧道：主要用作城市地下排污通道；

c.管路隧道：主要用作安置城市煤气、暖气、热水等管道的孔道；

d.线路隧道：主要用作安置电力与电信电缆等的孔道；

e.人防隧道：主要用作人防工程。

④矿山隧道。在采矿工程中，常设一些隧道，从山体以外通向矿床。主要包括如下几类：

a.运输巷道：向山体开凿隧道通到矿床，并逐步开辟巷道，通往各个开采工作面。前者称为主巷道，为地下矿山的主要出入口和主要运输干道；后者分布如树枝状，通往各采掘工作面。此种巷道多采用临时支护，仅供作业人员进行开采工作的需要；

b.给水隧道：送入清洁水为采掘机械所使用，并将废水及积水通过泵抽排出洞外；

c.通风隧道：主要用作矿山开采通风与排尘。

(5)按隧道断面型式划分，主要包括：圆形隧道、马蹄形隧道、矩形隧道、直墙拱顶隧道等。

(6)按国际隧道协会(ITA)定义的断面大小划分，主要包括如下几种：

①特大断面隧道：断面面积在 100 m^2 以上；

②大断面隧道:断面面积在 50 ~ 100m^2 之间;

③中等断面隧道:断面面积在 10 ~ 50m^2 之间;

④小断面隧道:断面面积在 3 ~ 10m^2 之间;

⑤极小断面隧道:断面面积在 3m^2 以下。

(7)按隧道内车道数划分,主要包括:单车道隧道、双车道隧道、多车道隧道。

(8)按隧道施工方法划分,主要包括如下几种:

①山岭隧道施工隧道。它又可分为矿山法(或钻爆法)施工隧道与机械掘进施工隧道。矿山法施工隧道又包括传统矿山法与新奥法施工隧道;

②浅埋及软土施工隧道。它又包括采用明挖法、地下连续墙法、盖挖法、浅埋暗挖法与盾构法等施工方法施工的隧道;

③水底施工隧道。它又包括沉埋法与盾构法施工隧道。

2.公路隧道分类的依据与分类方法是什么?

答:公路隧道分类的依据是公路隧道的长度。公路隧道长度是指进出口洞门端墙墙面之间的距离,即两端墙墙面与路面的交线同路线中线交点间的距离。不同的公路隧道长度其勘测、设计、施工与管理的技术要求都不同。

依据交通部《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)与我国公路隧道的现状,并尽量向国际隧道协会(ITA)的分类标准靠拢,依据公路隧道长度分为短、中长、长和特长隧道四类,具体情况见表 1-1。

公路隧道分类　　表 1-1

隧道分类	特长隧道	长隧道	中长隧道	短隧道
隧道长度 $L(m)$	$L>3000$	$3000\geqslant L\geqslant 1000$	$1000>L>250$	$L\leqslant 250$

3.公路隧道设计应该遵循哪些有关国家规范、规定与要求?

答:公路隧道设计应遵循如下有关国家规范、规定与要求:

(1)中华人民共和国交通部《公路工程技术标准》(JTJ 001—97);

(2)地震区隧道的设计应符合交通部颁发的《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004－89)的要求；

(3)必须符合国家有关土地管理、环境保护、水土保持等法规的要求；

(4)公路隧道设计应用完整的地质勘测调查资料，针对地形、地质、水文、气象和地震等条件，考虑营运和施工条件，进行多方案的技术、经济比较，使确定的方案符合安全、经济、适用的要求；

(5)隧道主体结构物应按永久性建筑设计，具有规定的强度、稳定性和耐久性，且符合美观和环境要求。

4.公路隧道勘测设计文件的主要内容是什么?

答：公路隧道勘测设计的成果是相应的设计文件，应按交通部颁发的《公路基本建设工程设计文件编制办法》和《公路勘测规程》(JTJ 061—99)的要求进行。勘测结束后应提出隧道勘测说明书，其内容如下：

(1)沿线隧道概况及自然概况；

(2)工程地质(包括地震烈度资料)及水文地质情况；

(3)气象、环境和有关政策法令情况；

(4)施工条件(包括施工场地、工程设备、给排水、动力、施工道路、弃渣场、建筑材料来源以及与附近建筑物或环境的关系等)；

(5)隧道施工(2个或2个以上)的比选情况和在设计中应注意的事项；

(6)对运营通风、运营照明和排水方式的选择建议；

(7)存在问题以及解决办法的建议，有关协议、纪要等；

(8)隧道线路方案平面图：比较方案(2条以上)应绘入图内，并附有方案比较说明，采用方案的理由；

(9)隧道线路地质平面图：显示地质构造、岩层产状、不同地质的分界线、水文地质情况、地物、地貌等。图中还应绘出推荐方案；

(10)隧道纵断面图：显示隧道全貌、埋置深度、地质(围岩类

别、岩层产状、节理情况、不同地质分界线)和水文地质以及线路条件。图上除注明里程、地面标高外,尚应注明设计坡度,设计标高及线路曲线要素等。绘制范围应包括两洞口以外与线路的接线点。图内还应显示钻孔、物探等位置;

(11)隧道洞口地形平面图:显示边坡开挖情况,选定洞口位置,确定明洞长度,布置排水、施工场地及防护工程设施等,一般洞口地形平面图的施测范围为洞口前后及两侧各宽约 60m 左右,有不良地质现象时,其施测范围应酌情加宽;

(12)洞口纵横断面图:显示洞口地形、工程地质(覆盖层厚度、岩层产状、岩石节理情况及不同地质分界线等)、水文地质以及仰坡开挖坡度等。隧道洞口、洞外接线横断面图按路线横断面要求测绘。当隧道通过不良地质或地形、地质条件极为复杂地段时,需绘制洞身横断面图,用以选择衬砌类型及施工方法等;

(13)辅助坑道及运营通风风道工程所需地形纵断面图:当预计设置辅助坑道时,应进行测绘以显示坑道附近的地形、地质、与正洞的关系、具体位置、场地布置、运营通风机房、通风道风向转换阀等设施的位置、运营照明设施的设置、安全设施的位置。公用隧道的进出口位置、隧道管理所的位置等;

(14)明洞纵横断面图:用以确定明洞长度、结构类型、施工方法、边仰坡以及防护处理等。当明洞受河岸冲刷或有不良地质现象时,施测范围应适当加宽,一般每 5m 左右施测一个横断面;

(15)对于长大隧道(2000m 以上)和地质复杂的隧道等,还应分工点编写隧道工点说明。主要内容是:

①隧道位置的选定情况和选定洞口的意见;

②地形、地貌、植被情况以及工程地质、水文地质简况;

③洞身、洞口的特殊问题以及有关工程的处理措施和意见;

④场地布置、便道引入、弃渣处理及利用的情况和意见;

⑤辅助坑道和运营通风的选定和设置意见;

⑥施工设计的注意事项等。

除上述资料外,对长大隧道或复杂的隧道应将工程地质及水

文地质调查成果附于说明书之后。施工图设计是以上述资料为基础的。较长隧道的施工图设计一般应包括如下内容：

(1)隧道平面图：显示地质平面、隧道平面位置及路线里程和进出口位置等。设U形回车场、错车道、爬坡车道时，应显示其位置和长度；

(2)隧道纵断面图：显示隧道地质概况、衬砌类型(有加宽或设U形回车场时，应显示加宽值及加宽段长度)、埋深、路面中心设计标高。有高路肩时显示路肩标高、设计坡度、地面标高、里程桩等；

(3)隧道进出口纵横断面图：显示设置洞门处的地形、地质情况、边仰坡开挖坡度及高度等；

(4)隧道进出口平面图：显示洞门附近的地形、洞顶排水系统(有平导时，与平导的相互关系等)、洞门广场的减光设计等；

(5)隧道进出口洞门图：显示洞门的构造、类型及具体尺寸，采用建筑材料、施工注意事项、工程数量等。有遮光棚等构造物时，应显示其与洞身连结关系及完整的遮光棚构造设计图；

(6)隧道衬砌设计图：显示衬砌类型、构造及具体尺寸、采用的建筑材料、施工注意事项、工程数量等。设回车场、错车道、爬坡车道时应单独设计；

(7)辅助坑道结构设计图；

(8)运营通风系统的结构设计图；

(9)运营照明系统的结构设计图；

(10)监控与管理系统的结构设计图；

(11)附属建筑物的结构设计图。

在整个施工图设计文件中应有隧道设计说明书。对隧道概况(路线、工程地质、水文地质、气象、环境等)、设计意图及原则、施工方法及注意事项等做概括说明。中小隧道的设计内容酌减。

第二章　公路隧道的勘察设计

5.公路隧道勘察设计的基本阶段如何划分？它们的主要内容是什么？

答：公路隧道勘察阶段的划分应与公路隧道设计阶段相适应。一般分为可行性研究勘察、初步勘察与详细勘察三个阶段。主要内容如下：

(1)可行性研究勘察：公路隧道可行性研究按其工作深度分为预可行性研究和工程可行性研究。在预可行性研究中，主要侧重于收集与研究已有文献资料；而在工程可行性研究中，需在分析已有资料的基础上，通过踏勘，对各个可能方案做实地调查，并对不良地质地段等重要工点进行必要的勘探，大致查明地质情况。

(2)初步勘察：初勘是在批准的工程可行性研究报告推荐建设方案的基础上，在初步选定的路线内进行勘察，其任务是满足初步设计对资料的要求。根据工程地质条件，优选路线方案，在路线基本走向范围内，对可能作为隧道线位的区间进行初勘，重点勘察不良地质地段，以明确隧道能否通过或如何通过，提供编制初步设计所需全部工程地质资料。初勘工作可按收集资料、工程地质选定隧道线位、工程地质调绘、勘探、试验、资料整理等顺序进行。其基本内容如下：

①收集资料：初勘也应收集已有资料，包括可行性研究报告。取得隧道所在位置的初步总平面布置地形图及有关工程性质和规模的文件；

②工程地质选定隧道线位：初勘工作的任务是选择经济合理、技术可行的最优隧道方案。当测区内的工程地质条件比较复杂，

如区域地质的稳定条件差、有不良地质现象，尤其应注意工程地质选线工作。首先应从工程地质观点来选定隧道线位的概略位置，然后充分研究并掌握沿线的工程地质条件，尽可能提出有比较价值的方案进行比较，将隧道选定在地质情况比较好的区间内，以避免在详测时因工程地质问题发生大的方案变动；

③初勘资料整理：工程地质勘察的原始资料，包括调查、测绘、勘探、试验等资料，并按有关规定填写，并进行复核和检查。提交的资料包括图件、文字等资料，要求清晰正确，并符合有关规定和设计文件编制办法的规定。

(3)详细勘察：详勘的目的是根据已批准的初步设计文件中所确定的修建原则、设计方案、技术指标等设计资料，通过详细工程地质勘察，为线位布设和编制施工图设计提供完整的工程地质资料；详勘的任务是在初勘的基础上，进行补充校对，进一步查明沿线的工程地质条件，以及重点工程与不良地质区段的工程地质特征，并取得必需的工程地质数据，为确定隧道位置的施工图设计提供详细的工程地质资料。详勘工作可按准备工作、沿线工程地质调绘、勘探、试验、资料整理等顺序进行。由于详勘工作需在初勘的基础上进一步查明隧道中线两侧的工程地质条件和不良地质区段的主要工程地质问题，因此较初勘工作更为详细深入。最后提交的资料深度应满足施工图设计的要求。

6.公路隧道勘察的主要方法及其主要内容是什么？

答：公路隧道勘察的方法主要包括收集与研究既有资料，调查与测绘、勘探，试验与长期观测等几种。其中，收集与研究既有资料，调查与测绘、勘探是公路隧道勘察的主要方法。它们的主要内容如下：

(1)收集研究既有资料

公路隧道工程地质勘察各阶段的准备工作是根据勘测任务的要求，配备必要的专业人员，收集与研究有关资料，了解现场情况，并做好勘察仪器等的准备。其中，收集和研究隧道所处地区的既

有有关资料，不仅是外业工作之前准备工作的重要内容，也是公路隧道勘察的主要方法。收集既有资料包括：

①区域地质资料；

②地形与地貌资料；

③区域水文地质资料；

④各种特殊地质地段及不良地质现象的分布情况、发育程度与活动特点等；

⑤地震资料；

⑥气象资料；

⑦其它如气温、水文、植被、土壤等有关资料；

⑧诸如处理区内已有公路、铁路等其它土建工程的工程地质问题及其防治措施等方面的工程经验。

上述资料，还应包括政府和生产、科研、教学等部门所出的一切有参考价值的地质图、文献、调查报告及与工程有关的法令、法规、方针、政策等。对收集到的资料进行分析研究和判断，可以初步掌握隧道所经地区的工程地质条件的概况和特点，粗略判断可能遇到的主要工程地质问题，并了解这些问题的研究现状和工程经验。这对于做好准备工作和外业工作是十分必要的。在隧道勘察工作中，正确运用这种方法，可以减少外业工作的盲目性，提高工作质量。

(2)调查与测绘

调查与测绘是工程地质勘察的主要方法。通过观察和访问，对隧道通过地区的工程地质条件进行综合性的全面研究，将查明的地质现象和获得的资料，填绘于有关的图表与记录本中，这种工作统称为调查测绘(简称调绘)。公路隧道工程地质测绘，一般可在沿线两侧带状范围内进行，通常采用沿线调查的方法，对不良地质地段及地质条件复杂的路段，应扩大调绘范围，以提出完整可靠的地质资料。其主要内容包括如下几个方面：

①工程地质调查

工程地质调查主要是采用直接观察和访问当地群众的方法，

必要时可配合适量的勘探和实验工作。

a.直接观察:直接观察是工程地质调查最重要和最基本的方法。它主要利用自然迹象和露头,进行由此及彼,由表及里的观察分析工作,以达到认识路线隧道通过地带的工程地质条件的目的。

在公路隧道工程地质调查中,常采用地貌学和地植物学的方法观察分析有关自然现象。前者根据地貌的形态特征,推断其形成原因和条件,并评价其工程地质条件;后者根据植物群落的种属、分布及其生态特征,推断当地的气候、土质及水文地质等条件。有些对土质、水分、盐分等条件要求特别严格的植物,可以作为指示植物加以利用。地植物学的方法在潮湿茂密的林区是十分必要的,而在植物缺少的沙漠地区则是足够准确的;

b.访问群众:访问当地群众是工程地质调查常用的方法。对沿线居民调查访问,可以了解有关问题的历史情况及当地与自然灾害作斗争的经验,这对于直接观察往往是必不可少的补充。在某些情况下,这种方法尤其显得重要。

②工程地质测绘

工程地质测绘与工程地质调查的不同之处是:工程地质测绘的范围往往比较大,并且要求把调查研究结果填绘在一定比例尺的地形图上,以编制工程地质图。测绘范围以能满足工程技术要求为前提,并应包括与工程地质环境有关的范围。测绘的比例尺可以在以下范围内选用:可行性研究阶段 1:5000 ~ 1:50000,初勘阶段 1:2000 ~ 1:10000,详勘阶段 1:200 ~ 1:2000。为了达到测绘精度要求,实测所用地形图的比例尺必须大于或等于提成图比例尺。

工程地质测绘方法主要包括现场测绘和航测两种方法。现场工程地质测绘主要包括目测法、半仪器法与仪器法三种,现场工程地质测绘所采用的观察方法主要包括路线法、布点法和追索法;航测方法的实施主要包括三个阶段:即航测图片的判释、实地调查测绘与绘制工程地质图。

③调查测绘内容

工程地质调查测绘的内容视要求而定。调查测绘的重点也因勘察设计阶段及工程类型的不同而各有侧重，其基本内容主要包括：地形与地貌、地层与岩性、地质构造、第四纪地质情况、地表水及地下水情况、特殊地质及不良地质地层情况、地震情况、工程经验。

7.公路隧道地质勘探的常用主要手段及其主要内容是什么？

答：公路隧道地质勘察的常用主要手段有挖探、简易钻探、钻探、地球物理勘探(简称物探)等，它们的主要内容如下：

(1)挖探：挖探是地质勘探中广泛采用的一种方法。这种方法的最大优点是能取得详尽的直观资料和原状土样，但勘探深度有限，而且劳动强度大。挖探主要包括坑探和槽探；

(2)简易钻探：简易钻探是工程地质勘探中经常采用的方法。其优点是工具轻，体积小，操作方便，进度较快，劳动强度较小；缺点是不能采取原状土样或不能取样，在密实或坚硬的地层内不易钻进或不能使用。常用的简易钻探工具有小螺纹钻、钎探、洛阳铲等；

(3)钻探：在工程地质勘察工作中，钻探是广泛采用的一种最重要的勘探手段，它可获得深部地层的可靠地质资料。一般是在挖探与简易钻探不能达到目的时采用。为保证工程地质钻探工作质量，避免漏洞或寻错重要的地质界面，在钻进过程中不应放过任何可疑的地方，对所获得的地质资料进行准确的分析判断。用地面观察所得的地质资料来指导钻探工作，校核钻探结果。根据钻探时破碎岩石的方法，钻探可分为冲击钻进，回转钻进，冲击回转钻进以及振动钻进等几种。

(4)地球物理勘探

地球物理勘探简称物探。不同成分、不同结构、不同产状的地质体，在地下半无限空间是不同的物理场分布。凡是以各种岩土物理性质的差别为基础，采用专门的仪器，观测天然或人工的物理场变化，来判断地下地质情况的方法，统称为物探。

物探的优点是效率高，成本低，仪器和工具比较轻便。物探方法是地层在自然状态下，各种物理力学指标均未受到破坏的情况下进行的一种比较好的原位测试方法。但是，由于不同岩土层可能具有某些相同的物理性质，或者同一种岩、土可能具有某些物理性质差异，因此，有时较难得出肯定的结论，必须使用钻探加以校核、验证，物探有一定的适用条件。物探与调查测绘、挖探、钻探密切配合时，对指导地质判断，合理布置钻孔，减少钻探工作量等方面都能取得良好的效果。恰当的运用多种物探方法进行综合物探，也能取得较好的效果。

物探按其所利用的岩土物理性质的不同可分为电法勘探、电磁法勘探、地震勘探、声波探测、重力勘探、磁力勘探与放射性勘探等。在隧道工程地质中，较常用的有电法勘探，地震勘探，地质雷达勘探等。

8.公路隧道水文地质勘察的基本内容是什么？

答：公路隧道与地下水的影响关系，主要出现两种现象：一是隧道内涌水，这将恶化围岩稳定状态，导致施工困难，增大工程造价。二是地表枯水，造成工业用水及饮水困难。因此，必须进行调查预测。公路隧道水文地质勘察的基本内容如下：

(1)地下水涌水调查

为了预测施工中可能出现的集中涌水，要通过对构造裂隙、地下水露头的调查，判明含水层、透水层、隔水层的范围及其与隧道的关系和影响程度；地下水涌水调查的主要内容主要包括调查地下水的类型及其与地表水的相互补给关系，地下水的动态变化规律；调查地下水的流量、流向及水质等。

要预测地下水的涌水量，须调查隧道中心线上的“谷”及“梁”的分布情况；断层及透水性岩层的性状和分布；地下水状况；已建工程的涌水资料，单位流域的枯水量和它的比流量等。

所有的水文地质勘察都可以利用钻探的成果。在钻探过程中，如果发现有含水层存在时，对其水位(有两个以上含水层存在

时要分层考虑)、涌水量、钻进中的漏水情况以及钻孔孔壁坍塌情况等特别加以注意。可以利用钻孔进行抽水试验及各种探测,也可以利用岩芯作渗透试验等。所有这些试验成果,都是分析地层的渗透性及坍塌性的有用资料。利用钻孔、测量含水层的静水位及压力水位,如果有两层以上含水层时,则应分别测量。除钻孔外,井、泉、溪流水面等都表示含水层的地下水面。地下水面和压力水位受季节影响而变动,因此要调查它的水文动态。如果地下水受到抽水及灌溉等影响时,要查明与使用水量、使用时间和地下水变化的关系。

与隧道所在区域的地貌、地质等条件相似的地区的已建工程,或者在区域附近已建有相应工程设施时,就要调查它的地质情况,集中涌水地点、水量、稳定涌水量、季节变化、山体稳定状态、涌水状况与地貌特征的关系等情况。同时,还要查明它们与新建隧道的位置关系,高、低差及距离。要把井水水位、泉与溪流水位、钻孔水位以及已查明的附近的已建工程的地下水位记录在流域图上。

涌向隧道地下水的范围,要看隧道通过地区的山体的大小、含水层的分布、岩层的渗透性等情况而定。涌水的调查范围,一般情况应以包括隧道路线在内的及被明显的沟谷切割为单独的山体为准。但是,当含水层分布情况较明显时,可以根据含水层的规模、渗透性以及隧道通过地段与其周围地区的高程差等具体情况,适当地缩小或扩大调查范围。正常稳定的涌水量与流向隧道的地下水的范围及流量有关。向隧道集结的地下水的范围(隧道涌水的渗流范围)可以根据山体的大小、隧道的位置、深度等的相互关系,大体推测出来。

(2)枯水调查

枯水调查内容与涌水调查基本相同。但枯水问题有时对社会产生巨大的影响,所以枯水调查也要考虑水利远景规划。枯水调查的主要内容是:水利资源的利用状况,溪流的流域和流量,泉水、地下水的状态,植被、气象与隧道涌水有关联的问题,以往工程的

枯水资料等。调查结果可以用坐标图表示，横轴表示时间，纵轴表示调查项目。枯水调查的对象和范围与隧道涌水调查基本相同。但是，从对河流不利角度来说，由于枯水现象所引起的水位下降，流量减少等影响，往往波及到下游，因此在决定调查范围时，要考虑到这一点。另外，进行枯水调查时，也须查清它的影响范围和不受影响的分界点，因而调查范围应该宽裕些。主要的水利工程有饮用水、农业用水灌溉、畜牧、果树、园艺、工业用水、水力发电、渔业、航运等。要调查各种水利工程的使用水量、使用水位、季节性变化以及将来的规划。同时也要调查水质、水温、鱼类繁殖等情况，调查河川、溪流、泉水、地下水。河川溪流调查基本上和涌水调查内容相同。但是，由于各个地区水利资源开发程度不同，要综合考虑流域的划分。对于泉水而言，有的泉水直接流入河中不易被发现，有的在地面上可以直接目睹。对于后者，可以测出它的位置、标高、水位或压力、水量、水温等，此外，也要调查它的季节性变化以及降雨后的变化情况，同时要进行水质化验。对于地下水枯水调查，主要是调查此地下水的利用状况(使用时间、水量等)、地下水季节性变化以及雨后变化等内容。对于植被调查，可按照分区、分类，分别调查树龄、密度、生长情况等，并要考察分析能否受到隧道涌水的影响。

对于与隧道涌水有关联的问题调查，在开挖过程中，如果出现涌水现象，就要把涌水的位置、初期水量、水量累计、稳定水量等各项内容调查清楚。同时，要调查分析前述各项调查的内容是否受到涌水的影响。因为，根据在开工之前已经调查了的有关范围的供水水源、河溪水流、井、钻孔、泉等水的水位、流量、导电性，特别是电阻率、pH 值、化学成分(水质)等的实际情况。所以，可明确判断枯水现象是由于开挖隧道引起还是由于气象条件变化所引起。隧道涌水和枯水问题的气象调查，只限于测定降雨量及蒸发量。一般情况只调查地下水的主要来源即降雨量即可。以往工程的枯水资料，以涌水调查的各项内容为准。但是，新旧工程的影响是相互交错的，须调查清楚以往工程影响的范围及状况。

9.公路隧道建筑环境保护与防治的基本内容是什么?

答:随着社会发展,人们对环境保护的要求提到议事日程,保护环境、改善环境已列入国家法律,因而在公路隧道设计与施工中必须提高对环境保护的意识。否则,会给周围环境造成不良影响,致使周围环境质量下降。对于环境保护问题,应按照国家颁布的有关法律规定,无论在工程设计时或施工中,都应采取相应措施,以满足环境保护的要求。公路隧道建筑环境保护与防治的基本内容如下:

(1)水资源的保护:修建公路隧道工程引起水资源的严重流失,会对隧道顶部的水利设施产生极大的影响,会造成隧道区域内居民用水的困难,会使隧道范围内的田地干枯,植被枯黄,甚至引起较大区域的地表塌陷,因此,在公路隧道工程设计与施工中应采取措施,防止水资源流失,水面下降。

(2)植被的保护:树木、草皮等植被不但能固着表土,减少水土流失,防止土壤沙化,还有涵养水源,保留土壤肥力,调节气候,改善环境的功效。虽然隧道工程本身对植被的破坏远小于路基工程,但在施工过程中对植被的破坏也是比较严重的,故应在施工组织设计中采取有效的环保措施。

(3)特殊保护区的保护:特殊保护区是指名胜古迹、风景游览区、疗养区、温泉区、自然保护区等。在上述地区范围修筑公路隧道,应采取相应措施,保持原有景致特征。防止大气、水质、噪声、振动及粉尘污染。隧道洞口及附属设施与当地景致协调。

(4)特殊地质段的保护:对地层发育良好、层序完整、界线清楚、化石丰富以及对地层学、古生物学研究有价值的地段,应采取有效措施进行保护。

(5)对环境污染的防治:主要内容包括:

①污水防治;

②烟气污染防治;

③粉尘污染防治;

④噪声污染防治；

⑤振动的防治；

⑥有害物质的防护。

(6)弃渣处理：公路隧道工程弃渣处理是施工组织设计中的重要内容，从环境保护要求出发，应着重注意以下几点：

①选择、规划弃渣场地，应按国家土地利用的基本政策，尽量占用荒地，少占耕地、控制侵占良田，尽可能少的改变原有的自然环境；

②严禁向河谷倾倒弃渣，应在掌握河流特性，经弃渣设计后，分层碾压弃渣，并确保能防止本岸、彼岸与下游出现各种水害；

③对于含有放射性物质的水、弃渣，应经严格测定后，依据含量或浓度确定处置措施；

④对于可利用的隧道挖方，应尽量就地加工成工料或骨料用于工程，或作为路基填料，以减少堆放数量和减少占用土地；

⑤根据隧道弃渣地区的降水、地面径流及地形情况，对弃渣松散堆体设置排水管、盲沟、截水沟、加固弃渣堆坡脚，以确保弃渣体的稳定，防止发生人为的灾害，有条件时应在弃渣堆上覆盖 30cm 以上厚度的耕植土，覆土造田或种树绿化。

10.公路隧道工程周围环境现状调查的基本内容是什么？

答：公路隧道工程周围环境调查要选取被认为因隧道的修建与使用面引起环境现状恶化的项目来进行，其主要内容有：

(1)地物地貌的调查，包括：隧道洞口附近居民住宅、企事业单位的分布情况及规模；地物的结构类型、用途、程定情况；应保持的风景、名胜古迹、历史文物的具体位置和保护的级别；土地、水面利用状况；交通状况等。

(2)地形地质的调查，包括：地形特征及可供选择的施工便道、临时建筑及弃渣场地；地质构造及不稳定地层类型；区域地质水文基本特征、地下水及地表水补给状况；河谷的水文特征；温泉地热等。

(3)大气质量的调查,包括:气象资料,大气污染现状,大气质量已达国家或地方标准情况等。

(4)水体质量的调查,包括:水源类型、供水量、供水方式、水源补给转化情况;排水途径及方式;现有水质污染程度;现有水体质量已达到国家或地方标准情况等。

(5)噪声振动的调查,包括:工程周围环境噪声本底值;对施工机械、运输装卸及爆破产生的噪声、振动的限制标准;施工机械产生的噪声、振动方面的资料等。

(6)生态资源的调查,包括:森林、草场、水域的面积和位置;野生动物、珍稀动物、水生生物的种类、分布、数量等。

11.公路隧道环境保护的基本措施是什么?

答:公路隧道环境要与工程各阶段相适应,公路隧道环境保护的基本措施如下:

(1)水资源的保护措施

①浅埋公路隧道施工。为防止开挖施工引起地表水漏失和地层下陷,可结合地下水位涨落及水力坡度的变化情况,对地面下沉与掘进及衬砌衔接的关系进行观测,可采取超前支护方法,实施预注浆,对洞身围岩加固;

②当隧道穿过与地表水连通的破碎带,为防止突发性的泥石漏入或漏失地表水,可根据探水孔流出的水量和水压变化,采取洞内超前帷幕注浆,以加固破碎带和封堵水路;

③如预计隧道会与地下径流相遇,应及早采取拦堵截等保水措施,以减少水源离程损失。如一旦形成水资源经隧道漏失,可利用地形、地质等有利条件设置蓄水池,将未经污染的水流经沟、槽或专设管路提升,引入蓄水池供给用户。

(2)对污水的防治措施

①对隧道涌水量大的处所,设截水管由衬砌背后引出并导入蓄水池,避免与洞内施工污水汇合外排,可减少污水处理量,并可充分利用水资源充实施工用水;

②利用洞外自然沟壑地形，设置污水处理设施。对地形条件复杂的地区，采用平流斜板一级处理池。经处理后的水质要符合接纳水体相应的排放标准，并注意排放过程不应选在田地、坡脚以免产生水毁现象；

③尽量选用毒性小、污染少的注浆材料，尽量减少配制浆液过程的撒漏和注浆过程浆液漏失，对进入排水系统中的有害物质作净化处理，避免浆液流入地面水系和人畜用水水源。

(3)对粉尘污染的防治措施

①施工中改进爆破方法，采用松动爆破，无声振动等技术。炮眼钻孔严禁干孔施钻；

②散装水泥、石灰采用密闭罐运输、存放；

③搅拌场、弃渣区设隔尘隔声的隔离设施；

④绿化洞口附近的荒山与荒地，充分利用植被的天然吸尘作用。

(4)对有害气体的防治措施

公路隧道内车辆运营的有害气体都是由隧道通过通风排放口排出，由隧道通风排放口排出的有害气体扩散后的落地浓度应符合排放标准，否则应作处理设计。

(5)对噪声控制的措施

①施工中选择低噪声设备型号机械进场施工。噪声大的机械设备远离居民点或施工人员住地布设。合理安排机械作业，减少同时作业的机械台数，对产生噪声大的作业，不安排在夜间或节假日；

②运营中设置隔声屏或利用绿化带减少噪声传播。

(6)对振动的防治

①对搅拌机、球磨机、空压机、碎石机等的基础埋入地下，并铺设砂石垫层以减轻振动影响；

②通过试验，选择炸药品种，调整用药量，减少一次齐发的药量，以期达到减小爆破振动。

(7)对有毒有害物质的防护措施

①有瓦斯溢出的公路隧道施工，应采用防爆型机具设备，加强施工通风，采用多种方法监测隧道内瓦斯含量，使其达到规定标准；

②含有放射性物质的水与弃渣应置放于远离人群活动或居住的地方。弃渣应以高密度物质的材料封闭，或在弃渣上以粘土、水泥等覆盖，或种植树木让其自然衰变。

(8)对自然环境的保护

在公路隧道施工过程，由于受到改变土地形状，改变河道，改变植被，设置构造物以及开采材料等影响，破坏了原有自然环境，因此，要探讨自然环境的复原、修饰与绿化等措施及方案。

12.公路隧道设计工程调查的基本内容是什么?

答:公路隧道工程调查的内容是隧道设计的依据。公路隧道工程调查的基本内容主要包括：

(1)自然地理概况：包括地形、地貌、气象、水文及区域地质等既有资料的搜集或调查及勘察的工作条件等；

(2)环境调查：通过对场地、生态环境的调查，预测隧道的修建、营运对环境的影响程度，提出必要的环境保护措施；

(3)地质调查

①工程地质特征：如地层、岩性及地质构造等，着重查清地质构造变动的性质、类型、规模，断层、节理、软弱结构面特征及其与隧道的组合关系，围岩的基本物理力学性质等；

②水文地质特征：包括地下水类型，含水层的分布范围、水量、补给关系、水质及其对混凝土的侵蚀性等；

③不良地质和特殊地质现象，如崩塌、错落、岩堆、滑坡、岩溶、泥石流、湿陷黄土、盐渍土、盐岩、多年冻土、雪崩、冰川等，按勘察阶段要求，查明其发生与发展的原因及其类型和规模，根据其发展的趋势，判明其对隧道的影响程度；

④隧道通过含有害气体的地层时，应查明其分布范围、成分和含量，预测对施工、营运的影响，并提出防治措施；

⑤依隧道所处地区，按《中国地震烈度区划图》的规定或经地震部门鉴定，确定地震基本烈度等级。当测区存在断裂构造，特别是存在全新活动断裂和发震断层时，宜对隧道工程的影响作出评价。

13.公路隧道围岩分类因素与指标及其分类方法是什么?

答:公路隧道围岩分类是隧道设计的重要依据之一。目前,公路隧道围岩分类方法是沿用铁路隧道围岩分类的方法[依据《公路隧道设计规范》(JTJ 026－90)]。从国内外多年来的实践经验看,比较合理而行之有效的方法是岩体工程力学分析与岩体弹性波参数测试相结合的方法。采用岩体的完整性指标、坑壁松驰带宽度等参数与多因素的铁路隧道围岩分类法综合评定围岩类别。因此在隧道工程地质勘察成果对围岩作出质量评价,判定围岩类别的基础上,再结合岩体完整性系数(I)、岩石质量指标(RQD)、松驰带宽度等参数来综合评价,以资佐证,是可取的。特别对于界限不清和有争议的围岩质量评价更是必要的。公路隧道围岩分类因素与指标主要包括如下几个方面:

(1)岩体的结构特征与完整性

对于受软弱面控制的岩体,按软弱面的产状、贯通性、充填情况分为:整体结构、块状结构、碎裂(镶嵌)结构、疏松结构、松软结构等五类;由于围岩的完整性与其所受的构造变动程度直接相关,所以,将围岩分为构造变动轻微、较重、严重、很严重等四级,作为岩体受地质构造作用影响程度的定性描述,详细说明见表2-1;同时采用了节理(裂隙)发育程度,作为围岩完整性的定量指标,根据

围岩受地质构造影响程度等级划分 表2-1

等 级	地质构造作用特征
轻微	围岩地质构造变动小,无断裂(层); 层状岩一般呈单斜构造;节理不发育
较重	围岩地质构造变动较大,位于断裂(层)或褶曲轴的邻近地段,可有小断层;节理较发育
严重	围岩地质构造变动强烈,位于褶曲轴部或断裂影响带内;软岩多见扭曲及拖拉现象;节理发育
很严重	位于断裂破碎带内、节理很发育;岩体破碎呈碎石、角砾状,有的甚至呈粉末、土状

节理(裂隙)发育程度不同,将围岩分为:节理不发育、节理较发育、节理发育、节理很发育等四级,见表2-2;风化作用使岩体结构发生变化时,应结合因风化作用造成的各种状态,综合考虑确定围岩的结构状态,对于层状岩样,以厚度大于0.5m者为厚层,0.1~0.5m之间的为中层,小于0.1m为薄层。

围岩节理(裂隙)发育程度划分 表2-2

等级	基本特征
节理不发育	节理或裂隙(1~2组)规则,为原生型或构造型,多数间距1m以上,多为密闭;岩体呈巨块状
节理较发育	节理或裂隙(2~3组)呈X形,较规则,以构造型为主,多数间距大于0.4m,多为密闭,部分微张,少有充填物;岩体呈大块状
节理发育	节理或裂隙(3组以上)不规则,呈X形或米字形,以构造型或风化型为主,多数间距小于0.4m,大部分微张,部分张开,部分为粘性土充填;岩体呈块(石)碎(石)状
节理很发育	节理或裂隙(3组以上)杂乱,以风化型和构造型为主,多数间距小于0.2m,微张或张开,部分为粘性土充填;岩体呈碎石状

(2)岩石强度

将岩浆岩、沉积岩和变质岩按岩性、物理力学参数、耐风化能力等作为建筑材料的要求划分为硬质岩石和软质岩石二级;又根据单轴饱和极限抗压强度 R_b 与工程的关系(例如,与开挖工作的关系)分为四种,其标准及代表性岩石见表2-3。

岩石等级划分 表2-3

岩石等级		饱和抗压极限强度 R_b(MPa)	耐风化能力		代表性岩石
			程度	现象	
硬质岩石	极硬岩	>60	强	暴露后1、2年尚不易风化	1.花岗岩、闪长岩、玄武岩、岩浆岩类 2.硅质、铁质胶结的砾岩及砂岩、石灰岩、白云岩等沉积岩类 3.片麻岩、石英岩、大理岩、板岩、片岩等变质岩类
	硬质岩	>30			
软质岩石	软质岩	5以上~30	弱	暴露后数日至数月即出现风化壳	1.凝灰岩等喷出岩类 2.泥砾岩、泥质砂岩、泥质页岩、灰质页岩、泥灰岩、泥岩、劣煤等沉积岩类 3.云母片岩和千枚岩等变质岩类
	极软岩	≤5			

(3)地下水

在公路隧道围岩分类中,对地下水的处理采用降级的方法,在整体状的硬质岩石中,一般的地下水对它的稳定性影响不大,可不考虑降级;在块状硬质岩石和整体状软质岩石中,应根据地下水类型、水量和危害程度调整围岩类别,当地下水影响围岩稳定,产生局部坍塌,或软化软弱结构面时,可酌情降低1级;在碎石状松散结构的岩体中,当裂隙中夹有泥质充填物时,地下水对稳定性的影响很大,可根据地下水类型、水量、渗水条件、动水和静水压力等条件,判断它对围岩稳定的影响程度,可酌情降低1~2级;在强烈的断裂带内,或软塑状粘性土和潮湿的粉细砂中,分类已经考虑了一般的含水状态,可不再降级;若遇特殊含水地层,如已达饱和状态或具有较大承压水时,需另作处理。

(4)弹性波传播速度

铁路隧道围岩分类中还指出,如有弹性波(纵波)传播速度的测试资料,亦可作为判断围岩类别的根据。弹性波纵波速度 v_p 与隧道围岩类别的关系见表2-4。

隧道围岩分类 表2-4

围岩类别 / 参数指标	Ⅵ	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
RQD(%)	>95	85~75	75~85	50~75	25~50	<25
v_p(km/s)	>4.5	3.5~4.5	2.5~4.0	1.5~3.0	1.0~2.0	<1.0 <1.5(饱和状态的土)
Ⅰ	0.8~1.0		0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2

注:锤击法采用低值(Ⅰ)划分。

(5)岩石质量指标 RQD

迪尔(D.U.Deere)指出钻探时岩芯的采取率、岩芯的平均和最大长度是受岩体原始的裂隙、硬度、均质性所支配,因此,它可以表示岩体的质量,同时他又指出,岩体质量的好坏主要取决于长度小于10cm以下的细小岩块所占的比例,所以岩石质量指标 RQD 是

指钻孔中，用大于75mm双层岩心管、金刚石钻头获取的大于10cm的岩芯段累计长度与计算总长度之百分比，公路隧道中通常依据RQD指标对围岩进行分类，具体情况见表2-4。

(6)完整性系数(I)

公路隧道围岩完整性系数以弹性波的传播速度计算，即：

$$I = v_p^2 / u_p^2$$

式中：v_p——岩体的纵波速度(km/s)；

u_p——岩块的纵波速度(km/s)。按岩体完整性系数，对公路隧道围岩进行分类，具体情况见表2-4。

依据上述隧道围岩分类因素与指标，可对公路隧道围岩进行分类，具体分类情况见表2-5。

公路隧道围岩分类 表2-5

类别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态
	主要工程地质条件	结构特征和完整状态	
Ⅵ	硬质岩石(饱和抗压极限强度 $R_b > 60MPa$)，受地质构造影响轻微，节理不发育，无软弱面(或夹层)；层状岩层为厚层，层间结合良好	呈巨块状整体结构	围岩稳定、无坍塌，可能产生岩爆
Ⅴ	硬质岩石($R_b > 30MPa$)，受地质构造影响较重，节理较发育，有少量软弱面(或夹层)和贯通微张节理，但其产状及组合关系不致产生滑动；层状岩层为中层或厚层，层间结合一般，很少有分离现象，或为硬质岩石，偶夹软弱岩石	呈大块状砌体结构	暴露时间长，可能会出现局部小坍塌；侧壁稳定；层间结合差的平缓岩层，顶板易塌落
	软质岩石($R_b \approx 30MPa$)，受地质构造影响轻微，节理不发育；层状岩层为厚层，层间结合良好	呈巨块状整体结构	

续上表

类别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态
	主要工程地质条件	结构特征和完整状态	
Ⅳ	硬质岩石（R_b > 30MPa），受地质构造影响严重，节理发育，有层状软弱面（或夹层），但其产状及组合关系尚不致产生滑动；层状岩层为薄层或中层，层间结合差，多有分离现象；或为硬、软质岩石互层	呈块（石）碎（石）状镶嵌结构	拱部无支护时可产生小坍塌，侧壁基本稳定，爆破震动过大易塌
	软质岩石（R_b = 5 ~ 30MPa），受地质构造影响严重，节理较发育；层状岩层为薄层、中层或厚层，层间结合一般	呈大块状砌体结构	
Ⅲ	硬质岩石（R_b > 30MPa），受地质构造影响很严重，节理很发育，层状软弱面（或夹层）已基本被破坏	呈碎石压碎结构	拱部无支护时，可产生较大的坍塌；侧壁有时失去稳定
	软质岩石（R_b = 5 ~ 30MPa），受地质构造影响严重，节理发育	呈块（石）碎（石）状镶嵌结构	
	1. 略具压密或成岩作用的粘性土及砂性土 2. 一般钙质、铁质胶结的碎石土、卵石土、大块石土 3. 黄土（Q_3、Q_2）	1. 呈大块状压密结构 2. 呈巨块状整体结构 3. 呈巨块状整体结构	
Ⅱ	石质围岩位于挤压强烈的断裂带内，裂隙杂乱，呈石夹土或土夹石状	呈角（砾）碎（石）状松散结构	围岩易坍塌，处理不当会出现大坍塌，侧壁经常小坍塌；浅埋时易出现地表下沉（陷）或坍至地表
	一般第四系土的半干硬～硬塑的粘性土及稍湿至潮湿的一般碎、卵石土，圆砾、角砾土及黄土（Q_3、Q_4）	非粘性土呈松散结构，粘性土及黄土呈松软结构	

续上表

类别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态
	主要工程地质条件	结构特征和完整状态	
I	石质围岩位于挤压极强烈的断裂带内，呈角砾、砂、泥松软体	呈松软结构	围岩极易坍塌变形，有水时土砂常与水一齐涌出；浅埋时易坍至地表
	软塑状粘性土及潮湿的粉细砂等	粘性土呈易蠕动的松软结构，砂性土呈潮湿松散结构	

注：表中"类别"和"围岩主要工程地质条件"栏，不包括特殊地质条件的围岩，如膨胀性盐岩、多年冻土等。

14. 如何根据隧道围岩分类确定公路隧道设计的围岩物理力学参数与指标？

答：公路隧道围岩分类的目的主要是确定隧道设计的基本参数与指标，围岩物理力学参数与指标是最重要的隧道设计参数之一，经过广大科研与工程技术人员经验的积累，对各类公路隧道围岩物理力学参数及指标与相应围岩建立起了较可靠的关系，具体见表 2-6，为公路隧道围岩物理力学参数与指标的确定提供了可靠的依据。

各类围岩的物理力学指标表 表 2-6

围岩类别	密度 ρ (t/m^3)	弹性抗力系数 K (MPa/m)	弹性模量（静态）E (GPa)	泊松比 μ	内摩擦角 ϕ (°)	摩擦系数 f（圬工与围岩）
VI	2.5～2.8	1800～2800	>50	0.1～0.5	>78	0.6～0.7（表面不光滑时）
V	2.5～2.7	1200～1800	20～50	0.12～0.20	67～78	0.6（表面不光滑时）
IV	2.3～2.5	500～1200	5～25	0.15～0.30	55～66	0.5（表面不光滑时）

续上表

围岩类别	密度 ρ (t/m^3)	弹性抗力系数 K (MPa/m)	弹性模量(静态) E (GPa)	泊松比 μ	内摩擦角 ϕ (°)	摩擦系数 f (坑工与围岩)
III	1.9 ~ 2.2	200 ~ 500	2 ~ 10	0.20 ~ 0.35	43 ~ 54	0.3 ~ 0.5
II	1.7 ~ 2.0	100 ~ 200	< 2	0.30 ~ 0.45	31 ~ 42	0.3 ~ 0.5
I	1.5 ~ 1.6	< 100	< 1	0.35 ~ 0.50	≤30	≤0.25

注：①表中密度(ρ)，对 III 类围岩的老黄土采用 1.7 ~ 1.8，II 类围岩的新黄土采用 1.5；

②表中弹性抗力系数 K 一般可参考下列情况取值：

a. 洞径在 10m 及以上的取较低值，在 10m 以下的取较高值；

b. 裂隙发育的取较低值；

c. 对受地下水作用强度降低的围岩和可能继续风化的围岩取较低值；

d. 洞口、浅埋傍山隧道地段取低值；

③表列数值适用于洞径在 15m 及以下的隧道，不适用于黄土、冻土及其它特殊土(膨胀土等)隧道；

④表中摩擦系数 f，对 III 类围岩光滑的粘性土取 0.3，砂类土取 0.4；块、卵石取 0.5；II 类围岩光滑的粘性土取 0.3；砂性土取 0.4，卵、砾石取 0.5。

第三章　公路隧道总体设计

第一节　公路隧道总体设计

15.公路隧道总体设计的基本原则是什么?

答:公路隧道工程总体设计应做到全面规划,全面考虑,精心设计,达到安全、经济、适用与美观的要求,为此,必须遵循以下基本原则:

(1)公路隧道设计应考虑远景规划,按远景交通量设计,当近期交通量不大,且投资有限时,可考虑分期修建;

(2)公路隧道设计应该路隧综合考虑。高速公路、一级公路上的隧道和二、三、四级公路上的短隧道,其线形与公路的衔接应符合路线布设的规定;二、三、四级公路上的特长及长、中隧道的位置,原则上应服从路线走向,详细情况见交通部《公路工程技术标准》(JTJ 001－97)有关规定;

(3)公路隧道调查、选址,隧道线形(平、纵、横)、接线设计、洞内外排水系统、辅助坑道、弃渣处理、管理设施、交通工程设施、环保要求及绿化美化等,均应结合隧道规模、公路等级、施工方法、工期和营运要求全面综合考虑;

(4)当公路隧道对相邻建筑物有影响时,应在设计与施工中采取必要的措施。一般可考虑采用隧道与其它建筑物不同时施工及加强衬砌或原建筑物附近加强支撑、加固地基或防水等措施,保证隧道与其它建筑物互不干扰,使之稳定安全。

16.公路隧道选址的基本原则是什么?

答:公路隧道选址的基本原则如下:

(1)隧道选址必须与公路总体设计相协调适应;

(2)隧道位置应选择在稳定的地层中,尽量避免穿越不良地质段,若必须通过时,在设计与施工过程中应进行充分考虑,应有切实可靠的工程技术措施;

(3)越岭路线的公路隧道,应进行较大范围的方案选择,拟定不同的越岭标高进行全面的技术、经济比较,选择工程地质条件较好的地段穿越;

(4)沿河傍山地段的公路隧道,其位置宜向山侧内移,避免隧道一侧洞壁过薄,产生偏压,并应注意水流冲刷对山体及洞身稳定的影响,濒临水库地区的隧道,其洞口路肩设计标高应高出水库设计水位(含浪高和壅水高)不小于0.5m;

(5)选定公路隧道位置时,应注意洞口位置和有关工程的处理,一般宜"早进洞晚出洞",这是铁路隧道几十年来的经验总结。若洞口位置选择不当,不仅排水和施工困难,而且有可能给隧道设计和施工带来不良后果,造成难以整治的病害,危及施工和营运安全。

17.如何确定公路隧道的位置或如何进行公路隧道选址?

答:公路隧道位置的选择是极其复杂的,它与当地的工程地质与水文地质条件、地形地貌条件、气象条件、工程难易程度、经济、工期的要求以及施工技术现有水平和今后营运的条件等因素直接相关,它还与公路路线总体设计、相邻建筑物等有关,甚至还与政治、经济、军事及地区发展都有关。至今还没有找到一个唯一确定公路隧道位置的方法,下面从几个角度出发,介绍确定隧道位置的方法。

(1)按地形条件选择隧道位置

公路隧道是克服地形障碍的有效手段,隧道位置的选择在很大程度上受地形的制约,地形障碍包括高程障碍与平面障碍,克服

地形障碍主要有绕行(或沿河傍山绕行)方案、深堑方案及隧道方案。一般情况下,如果地形紧迫,山坡陡峭,一般采用公路隧道方案。但是,克服地形障碍究竟采用何种方案,必须综合考虑地质条件、气候条件、工程难易程度、经济、工期的要求以及施工技术现有的水平和今后运营的条件等,拟定多种方案进行技术与经济比较,才能最后确定。

(2)按地质条件选择隧道位置

在选择隧道位置应考虑的诸因素中,地质条件往往起决定性作用,应尽量使洞身位于地质结构单一完整的地层,有利于施工,支护形式简单一致,掘进方法可不变,从而可以保证工期,节省造价,养护方便,可保证营运安全。但是在实际工程中,地质、水文条件是千变万化的,当必须通过各种特殊地质和严重不良地质地段时,应当考虑以下因素选择隧道位置:

①隧道洞身不应在滑坡、错落体内穿过。如必须通过此类地段时,应使洞身埋置在错落体或滑动面以下一定深度的稳固地层中;

②当陡岸坡严重断裂不稳或者山坡有严重崩塌时,隧道位置宜往里靠,置于稳固地层中,如确有困难时,应选择范围最小且相对稳定的地段通过,并提出保证施工及洞身安全的有效措施。当崩塌地段短,情况不严重,可考虑明洞方案,或与路基工程作比较;

③公路隧道应避免通过地下水较为发育、严重地质不良的低洼垭口处;

④通过岩堆地段时,若经查明岩堆紧密稳定,可以修建公路隧道,但应避免洞身置于岩堆与基岩接触面处,如为不稳定的岩堆,公路隧道应内移置于基岩中,并留有足够的安全厚度;

⑤公路隧道穿过泥石流沟床下部时,应使洞身置于基岩中或稳定的地层内,并保证拱顶以上有一定的安全覆盖厚度;

⑥公路隧道通过岩溶地区时,宜选择在难溶岩的地段和地下水不发育的地带。力求避免穿越岩溶严重发育的地下溶蚀大厅、溶洞群及地质构造破碎带等地段,尽量避开易溶岩与难溶岩的接

触带。不能避开时，宜选择在较狭窄，影响范围最小处，以垂直或大角度穿过；

⑦公路隧道一般应避开流砂地段。无法避开时，应选择其范围最小且相对稳定地段，并以短距离通过，并提出合理可行的工程处理措施，以确保施工和洞身安全；

⑧第四纪堆积层一般松软易坍，对施工极为不利，一般应避开。当公路隧道部分洞身无法避开时，应选择影响范围最小的地段通过，并按其性质和地下水情况，采取合理的工程措施；

⑨隧道通过结构松散的冰碛层时，宜选择结构相对紧密的与影响范围最短的地段通过；

⑩黄土地区隧道，应选择在无地下水活动、密实稳定、远离陷穴群体、无滑坡、无泥石流的地段通过；

⑪隧道宜避免穿越富煤矿区和瓦斯含量较高的地带。当必须通过煤系地层时，力求隧道有一定厚度的隔层，或以大角度横穿，尽量减少其影响长度；

⑫多年冻土地区，由于受冻胀、融沉、热融滑坍等多种特殊物理地质现象影响，公路隧道洞身应避开穿过地下冰及地下水发育的地带，不能避开时，应采取措施综合治理；

⑬隧道通过基本烈度在 6 度以上的地震区时，必须避开发震断层带，选择对抗震有利的地段修筑；

⑭水库地区公路隧道位置，应避开受水库充水及消水影响易于发生滑塌病害的松散，破碎地带。选址在稳定的基岩或坍岩范围以外的稳定地层内；

⑮在单斜构造的地质条件下，尽可能避开软弱结构面。尤其是不要把公路隧道中线设成与软弱结构面的走向一致或平行，至少要成一定的交角；

⑯公路隧道穿过褶曲构造时，宁可选在背斜中，比在向斜中有利，隧道在褶曲的两翼，将受到偏侧压力，不利于隧道的稳定，因此，隧道穿过褶曲构造地区，尽量不使隧道中线与褶曲轴平行，而以褶曲轴正交或斜交为宜；

⑰选择公路隧道位置时，应尽可能避开断层或断层破碎带，不得已时，也要与断层带隔开足够的距离，而且，切忌隧道中线与断层方向一致，万不得已时，也宜尽可能正交跨越；

⑱尽量避免将公路隧道布置在不良水文地质分布区；

⑲考虑到地温对施工与将来运营的影响，选择公路隧道位置时，应尽可能不把隧道放在山体太深处。

(3)按线路类别选择公路隧道位置

①越岭隧道位置的选择

越岭隧道位置的选择主要以选择垭口和确定隧道高程两大因素为依据。公路隧道穿越垭口与高程必须综合考虑，既要使隧道越短越好，又要使隧道两端具有良好的展线条件。由于公路的选择性大，应发挥公路灵活的长处，比选越岭隧道位置时，对可能穿越的垭口和高程，以不同的纵坡、不同的隧道长度和展线方式，寻求地质条件好、隧道长度短、运营费用低、安全适用的最佳方案。

在选择这类隧道位置时，必须对地形地质问题进行反复的研究，综合考虑，在无显著的不良地质前提下，越岭隧道首先可以从地形角度选择可能穿越的垭口，其次拟定该垭口处越岭标高及两侧相应的展线方案，每一垭口可以选择几个不同的隧道标高及展线方案，它们互相联系，彼此影响。一般隧道埋置越深，展线长度越短，相应技术指标越高，越有利于营运；但由于隧道埋置深，就必须增加隧道长度，影响造价，延长工期。因此，隧道标高的选定，通常宜根据越岭地段的地质条件，并以临界标高作为基础。所谓临界标高就是隧道造价、接线造价及营运费用总和为最小的越岭标高。此外，选定隧道标高时，应考虑下列因素：

a.要尽可能把隧道埋置于较好的地层中；

b.应使洞口位置处于较好的工程地质、水文地质的地方，并便于施工场地的布置；

c.隧道宜设在多年冰冻线和多年积雪线标高以下，以保证施工和运营的安全；

d.隧道长度应考虑施工期限和施工技术等条件；

e.考虑远景发展，在不过多的增加工程造价的情况下，宜尽可能把标高降低一些。

总之，越岭路线的公路隧道，应进行较大面积方案的选择，对可能穿越的垭口，拟定不同的越岭标高进行全面的技术、经济比较。一般宜选择地质条件较好的垭口一侧穿越。

②傍山公路隧道位置的选择

沿河傍山地段，其地形、地质构造一般较复杂，又受流水冲刷的影响，布线较为困难，技术指标亦低，且路基工程难以保证稳定，在这种情况下，采用公路隧道是一个有效措施，可以提高技术标准，但应作多方案的技术经济对比。采用公路隧道方案应特别注意山体的稳定性，以免整个洞身因山体位移而破坏。同时还应避开严重的滑坡、崩塌、错落、岩堆等不良地质，并要考虑河流冲刷的影响。为了不给施工造成太多困难，避免病害发生，保证公路隧道稳定和营运安全，公路隧道位置宜向山侧内移，避免公路隧道一侧洞壁过薄、产生偏压。

沿河路线在沟谷交错、支沟发育、下切急剧的地段，可能出现隧道群或桥隧群，也可将路线内移采用截弯取直的长隧道。当然，对上述两种方案宜作技术和经济比较后才能确定。

濒临水库地区的公路隧道，洞口路肩设计标高应高出水库设计水位不少于0.5m。

傍山公路隧道位置的选择必须考虑洞身覆盖厚度的问题，为了保证山体稳定，避免产生偏压，隧道位置应考虑内移。隧道外侧最小覆盖厚度，应根据山坡坡度、围岩类别和洞身断面大小等因素确定。傍山隧道最小覆盖厚度参考表3-1，当地层结构面倾向山一侧时，地层比较稳定，覆盖厚度可以酌情减小；当地层结构面倾向河流一侧时，覆盖厚度宜予以加大。

③城市水底公路隧道位置的选择

城市水底公路隧道多为城市港湾和河川有航运要求时，为沟通水域两岸而修建，其设置位置及进出口，通常与城市的整体规划、工业布局、交通量、名胜古迹、旅游设施及郊区旅游点分布等直

接相关。引道短、洞外展线容易、视距有保障、接近路上无平交路口，用地少、远离大居民区及公共场所等是选择公路隧道位置时应该注意的问题。水底部分的埋深与水深、河床的地质情况、通航要求、引道长度及坡度等因素有关。

傍山隧道最小覆盖厚度　　表 3-1

围岩类别	最小覆盖厚度 t(m)	
	单　线	双　线
Ⅳ	4～6	7～9
Ⅲ	7～10	10～15
Ⅱ	12～20	15～30

18.公路隧道洞口位置选择的一般原则与基本要求是什么?

答:公路隧道洞口位置的选择是隧道勘测设计的重要环节之一。洞口位置选择好坏,将直接影响隧道施工、造价、工期和运营安全。选择时要结合洞口的地形、地质条件、施工、运营条件以及洞口的相关工程(桥涵、通风设施等)综合考虑,避免单纯经济观点来选定隧道洞口。公路隧道洞口位置选择的一般原则与基本要求如下:

(1)洞口部分在地质上通常是不稳定的。应考虑避开滑坡、崩塌、岩堆移动、泥石流等不良工程地质段。确定洞口位置时,对边、仰坡的稳定性应着重考虑,以免造成难以整治的病害,危及施工和营运安全。一般应设在山体稳定、地质条件好、排水有利的地方。公路隧道宜长不宜短,应"早进洞晚出洞",尽量避免大挖大刷,破坏山体稳定;

(2)洞口不应设在沟谷低洼处和汇水沟处;

(3)公路隧道穿过悬崖陡壁时,要注意岩壁的稳定性。施工时洞口不宜扰动原坡面和破坏地表植被及暴露风化破碎岩层。如果岩壁稳定、无崩塌或落石可能时,可以考虑贴壁进洞,否则应接长明洞,将洞口延伸至危险范围以外 3～5m;

(4)洞口地形平缓时,一般也应早进洞晚出洞。如果洞口位于

堆积层上，为避免引起坍塌、滑坡等，保持山体稳定，一般不宜大量清刷，需要时可接长明洞，确保施工和运营安全；

(5)为使洞口段衬砌结构受力条件较好，应使隧道中线与地形等高线正交，正交洞口的边、仰坡开挖较小且均衡。公路隧道一般不宜设计斜交洞门；

(6)长大公路隧道在洞门附近考虑施工场地、弃渣场以及便道等位置，对组织施工时的难易程度和进度有很大影响；

(7)洞口部分埋深较小，应考虑附近地上构筑物、地下埋设物对隧道的影响和对策；

(8)预先考虑运营后通风设备排出的废气和噪声对周围环境的影响程度和解决办法；

(9)研究雪崩、阵风、风吹雪对安全行驶的影响，考虑设置防雪工程、防风工程和防路面冻害工程的必要性；

(10)在城市公路隧道的进出口路上，考虑平交路口对隧道交通有无影响、如何解决等。

(11)在漫坡地段选择洞口位置时，应结合洞外路堑地质、弃渣处理、少占农田、填方利用、排水条件及有利施工等综合分析确定；

(12)公路隧道洞门避开居民点。当不能避开时，应考虑施工爆破对人身及房屋等设施的影响，必须采取保护措施；

(13)黄土地区公路隧道的洞口，应避免设在冲沟、陷穴附近，以免引起洞口坡面产生冲蚀、泥流或坍陷等病害；

(14)地震区公路隧道洞口位置，不应设在受震后易于产生崩塌、滑坡、错落等不良地质处，宜选择在抗震有利的地貌、地质处；

(15)公路隧道洞口的边坡、仰坡，必须保证稳定，其高度应根据工程和水文地质条件确定。一般在洞口的边坡，其仰坡设计开挖高度和坡度可参照表 3-2 选用；

(16)公路隧道洞口的中线，宜与地形等高线正交或接近正交。否则要尽量以大角度斜交进洞，并按下列规定办理：

①当围岩为 Ⅳ 类及以上时，可采用斜交进洞，其洞门端墙与

中线交角不应小于45°；

②岩石坚硬完整，不易风化者，要随天然地势进洞；

③在松软地层中，不宜采取斜交洞口；

④对岩石破碎、整体性差、斜交角度小的地段，应考虑延长隧道修建明洞式洞口。

洞口边、仰坡高度和坡度表 表3-2

围岩分类	坡　度	设计开挖高度
V、VI	1:0.1—贴壁	<15m
	1:0.3	<20m
	1:0.5	<25m
IV	1:0.5	<20m
	1:0.75	<25m
III	1:0.75	<15m
	1:1	<20m
	1:1.25	<20m
I、II	1:1.25	<15m
	1:1.5	<15m

注：设计开挖高度系从路基边缘算起。

(17)根据隧道洞口地形、地质及排水等要求，需要修建明洞(或棚洞)接长时，洞口应尽量设在土坡无病害的地方，不宜在滑坡、岩堆、泥石流等地段内修建；

(18)严寒地区(包括多年冻土和积雪地区)的隧洞洞口，应避开易产生热融滑坍、冰堆、冰丘、第四纪覆盖层及地下水发育的不良地质地段。一般宜早进洞晚出洞，尽量少破坏自然山坡。

第二节　公路隧道的几何设计

19.公路隧道平曲线设置存在什么基本要求？

答：公路隧道的平面线形设计和普通道路一样，应按交通部

《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)有关规定进行,公路隧道平曲线设置的基本要求如下:

(1)公路隧道内应尽量避免设置平曲线。如必须设置时,宜采用不设超高的平曲线半径,并应满足停车视距的要求。不设超高最小平曲线半径规定,见表 3-3;

不设超高的最小平曲线半径 表 3-3

公路等级	汽车专用公路								一般公路					
	高速公路				一		二		二		三		四	
地形	平原微丘	重丘	山岭		平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘
不设超高最小半径(m)	5500	4000	2500	1500	4000	1500	2500	600	2500	600	1500	350	600	150

(2)公路隧道的平面线形以采用直线或大半径曲线为好,并应考虑行驶安全、隧道全长较短、施工容易等,在洞口不应使用小半径的引线与隧道衔接;

(3)当受地形条件及其它特殊条件限制时,公路隧道线形设计为曲线并设超高时,其各项技术指标应符合交通部颁发的《公路路线设计规范》(JTJ 011—94)的有关规定。

20. 公路隧道纵曲线设置的基本要求是什么?

答:公路隧道纵曲线设置应满足如下基本要求:

(1)公路隧道内的纵坡坡度应不小于 0.3%,并不大于 3%;如果考虑通风,最大纵坡应在 2%以下;独立的明洞或短于 50m 的短隧道其纵坡不受此限制;

(2)公路隧道内的纵坡形式,一般可设置成单面坡;地下水发育的隧道及特长和长隧道可采用人字坡;

(3)从两个坑口施工时,一般设置"人"字坡;单向通行时,设置向下的单坡对通风是有利的;

(4)公路隧道内纵坡变更处均应设置竖曲线,凸形竖曲线最小半径和最小长度规定见表 3-4。

各级公路凸形竖曲线最小半径和最小长度 表 3-4

公路等级		汽车专用公路								一般公路					
		高速公路				一		二		二		三		四	
地形		平原微丘	重丘	山岭		平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘
凸形竖曲线半径(m)	极限最小值	11000	6500	3000	1400	6500	1400	3000	450	3000	450	1400	250	450	100
	一般最小值	17000	10000	4500	2000	10000	2000	4500	700	4500	700	2000	400	700	200
竖曲线最小长度(m)		100	85	70	50	85	50	70	35	70	35	50	25	35	20

21.公路隧道引线设计需注意的问题是什么?

答:衔接隧道两端公路的路线线段称为公路隧道的引线。公路隧道引线的平面线形,应当是连续且平顺的,设计中应注意以下几点:

(1)平面线形尽可能地直捷,曲线半径应尽可能地大,一般来说与自然等高线大致相适应的设计是较好的线形;

(2)两同向曲线间以短直线相连(即断背曲线)破坏了平面线形的连续性,应当避免,设计时应设法调整曲线半径做成一个单曲线或复曲线;

(3)两反向曲线间夹有直线段时,以设置不小于规范规定的最小直线长度。三、四级公路两相邻反向曲线无超高有加宽时,中间应有长度不小于 10m 的加宽缓和段;工程特殊困难的山岭区,三、四级公路设置超高时,中间直线长度不得小于 15m;

(4)曲线线形注意其连续性,位于曲线蜿蜒路线中的个别半径较小的曲线,对于平面线形的连续性影响不大;但位于直线多或半径大的路线中,个别半径稍小的曲线会使线形出现突然折曲,而造成不连续,影响行车的安全与舒适,应予避免;

(5)任何连续急弯的线形都应避免。为将连续反向曲线的线型设计得舒顺,可在曲线间插入足够长的直线,或设置较长的回旋线,以改善线形;

(6)复曲线能很好地适应地形和其它地物的限制,但应用中应注意有关相邻两圆半径之比值及曲线长度的规定。四级公路的复曲线,其大圆与小圆半径之比以不大于 2 为宜,如小圆半径大于不设超高最小半径值时,可不受此限,或适当放宽限制;

(7)紧接大、中桥和长度为 50m 以上隧道两端的长度,以不小于表 3-5 所列数值范围内的平面线形,应与桥、隧线形一致,小桥涵处的线形按该公路等级的路线要求布置;

桥隧两端线形与路线线形相一致的最小长度表 表 3-5

公路等级	一		二		三		四	
地形	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘
最小长度(m)	80	40	50	20	40	15	20	10

(8)进洞前和出洞后的引线纵坡,应有一段距离与隧道纵坡保持一致,以满足设置竖曲线和保证视距的需要;

(9)当隧道净宽大于所在公路等级路基宽度时,两端引线应有不短于 50m 的隧道等宽的加宽段,并设计过渡段加以衔接。当隧道净宽小于所在公路的路基宽度时,两端引线仍按等级公路标准设计,与隧道洞门端墙衔接。

22.公路隧道净空及建筑限界的含义是什么?

答:公路隧道净空是指隧道衬砌的内轮廓线所包围的空间,包括公路建筑限界、通风及其它所需的断面积。

公路建筑限界是为保证隧道内各种交通的正常运行与安全而规定在一定宽度和高度范围内不得有任何障碍物的空间限界。在设计中,应充分研究各种车道与公路设施之间所处之空间关系,任何部件(包括公路隧道本身的通风、照明、安全、监控及内装等附属设施)均不得侵入隧道建筑限界之内。隧道建筑限界由行车道宽度(W)、侧向宽度(L)、人行道宽度(R)或检修道宽度(J)等组成。当设置人行道时,含余宽(C)。其基本情况见图 3-1。

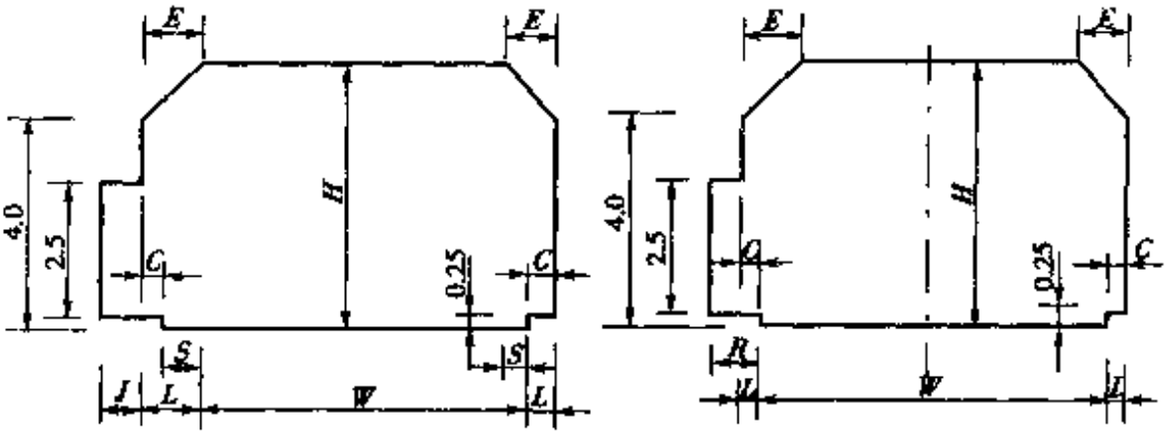


图 3-1 隧道建筑限界(尺寸单位:m)

W-行车道宽度,按表 3-6 的规定选用;S-行车道两侧路缘带宽度,按表 3-6 的规定选用;C-余宽,当计算行车速度大于或等于 100km/h 时为 0.5m;当计算行车速度小于 100km/h 时为 0.25m;H-净高,汽车专用公路、一般二级公路为 5m,三、四级公路为 4.5m;E-建筑限界顶角宽度,当 $L \leqslant 1$m 时,$E = L$;当 $L > 1$m 时,$E = 1$m;L-侧向宽度,高速公路、一级公路上的短隧道,其侧向宽度宜取路肩宽度;R-人行道宽度;J-检修道宽度

23.各级公路隧道建筑限界的基本宽度如何选取?

答:公路隧道建筑限界基本宽度随公路类别与等级不同,其取值方法参照表 3-6。

各级公路隧道建筑限界基本宽度(m)　　表 3-6

公路分类	公路等级	地形	行车道宽度（单洞）W	侧向宽度		人行道R	检修道（一侧）J	隧道建筑限界净宽	
				路缘带S	余宽C			设检修道或不设人行道	设人行道
汽车专用公路	高速公路	平原微丘	7.50	0.75	0.50		0.75	10.75	
		重丘	7.50	0.50	0.50		0.75	10.25	
		山岭	7.50	0.50	0.25		0.75	9.75	
			7.00	0.50	0.25		0.75	9.25	
	一级	平原微丘	7.50	0.50	0.50		0.75	10.25	
		山岭重丘	7.00	0.50	0.25		0.75	9.25	
	二级	平原微丘	8.00	/	0.25		0.75	9.25	
		山岭重丘	7.50		0.25		0.75	8.75	
一般公路	二级	平原微丘	9.00		0.25	0.75		9.50	10.50
		山岭重丘	7.00		0.25			7.50	8.50
	三级	平原微丘	7.00		0.25	0.75		7.50	8.50
		山岭重丘	7.00		0.25			7.50	8.50
	四级	平原微丘	7.00		0.25			7.50	
		山岭重丘	7.00/4.50		0.25			7.50/5.00	

注：①汽车专用公路隧道只在左侧设检修道；

②山岭重丘区的四级公路，只有当路基宽度为 4.5m 时，行车道宽度可采用 4.5m；

③四级公路一般可不设人行道。

24.公路隧道横断面设计除应符合隧道建筑限界的规定外，还应考虑哪些因素？

答：公路隧道横断面设计，除满足公路隧道建筑限界的要求外，还应考虑通风、照明、安全、监控等设施所需要的断面，并根据施工方法（矿山法或新奥法）确定断面形式及尺寸，达到安全、经济与合理。

在公路隧道横断面设计时，应尽量选择净断面利用率高与结构受力合理的衬砌形式，公路隧道横断面设计的一般布置形式参见如图 3-2；

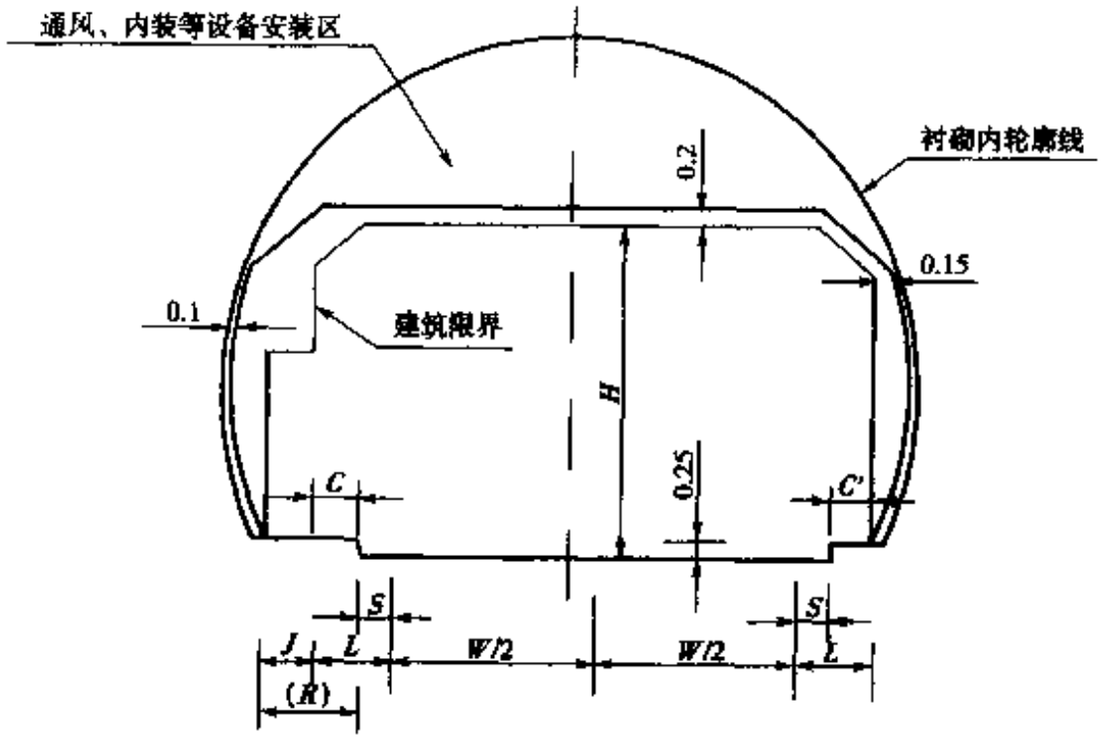


图 3-2　隧道横断面示意图（尺寸单位：m）

有行人通行的公路隧道，原则上应设置人行道，人行道的宽度一般不小于 0.75m，以便肩挑背负者使用。在有自行车通行的隧道，人行道宽度不宜小于 1.0m，以供自行车下车推行。必要时设置栏杆，以消除隧道内混合交通的干扰和隐患。城市附近及人行众多的隧道，人行道的宽度应根据需要适当加宽，以保证非机动车及行人不侵占行车道。不设置人行道时，应视隧道长短设置避车洞。

公路隧道内排水边沟设计可结合人行道、检修道或余宽一起

考虑。对在高速公路、一级公路上的特长、长隧道及交通量大的城郊隧道，应根据需要设置紧急停车带，这是考虑到车辆若在公路隧道内发生事故时，有一个应急的抢险、疏导车流的余地，便于较快地消解阻塞、减少损失。紧急停车带(加宽带)的设置可参照国际道路常设委员会(PIARC)推荐值办理：超过 2km 以上特长与长隧道须考虑设置宽 2.5m 与长 25m ~ 40m 的紧急停车带，间隔为 750m；10km 以上的特长隧道宜考虑回车道设施。

单车道隧道，为保证安全运输，洞内应设错车道，间距不大于 200m，错车道的设置按交通部《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)有关规定。

25. 单行隧道与双行隧道如何设置？双行隧道的间距如何选取？

答：设置单行还是双行隧道主要取决于公路运营的交通量、公路等级与当地地质条件。由于地质条件的关系，隧道宽度过大则不经济，施工上也增加难度，所以开挖面积通常在 $100m^2$ 以下，这样在每个车行隧道中，原则上规定采用对向交通的最小单位为 2 车道。如果交通量超过对向 2 车道的容量，则应设置两条各为单向交通的 2 车道，即合计 4 车道的双行隧道。从交通安全上考虑，不应设置对向交通的 3 车道隧道。大于 4 车道时，原则上隧道也应修成两条以上的 2 车道隧道。隧道前后公路若为 6 车道时，可修成两条单向 3 车道双行隧道；高速公路、一级公路一般设计为上、下行分离的两座独立的双行隧道。

对于双行隧道，其最小净间距取决于围岩类别、断面尺寸、施工方法、爆破震动等因素。一般情况下可按表 3-7 的规定选用。

两相邻隧道最小净间距 表 3-7

围岩类别	Ⅵ	Ⅴ~Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
净距(m)	(1.5~2.0)B	(2.0~2.5)B	(2.5~3.0)B	(3.0~3.5)B	>5.0B

注：B-隧道开挖断面的宽度(m)。

26.公路隧道接线应该满足什么基本要求?

答:公路隧道接线应将公路隧道与路线综合考虑,必须满足如下几方面要求:

(1)公路隧道洞口的连接线平面及断面线形应与隧道线形相配合,应当有足够的视距以保证行驶安全,尤其在进口一侧,需要在足够的距离外能够识别隧道洞口;

(2)隧道两端平面线形与路线线形相一致,必须有一定的连接线长度过渡,其最小长度规定见表 3-8;

隧道两端平面线形与路线线形一致的最小长度(m) 表 3-8

公路等级	高速公路				一		二		三		四	
地形	平原微丘	重丘	山岭		平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘
最小长度	100	80	60	40	80	40	60	20	40	15	20	10

(3)公路隧道两端的接线纵坡应有一段距离与隧道纵坡保持一致,以满足设置竖曲线和保证各级公路停车或会车视距的要求。需要机械通风的隧道,接线纵坡与隧道纵坡一致时,能使汽车以均匀速度驶入隧道。在洞口前如果为陡坡时,车速会降低,进入隧道后加速行驶,必然使排气量增加,从而导致通风设备的加大或通风量不足。各级公路停车、会车视距,按《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)有关规定执行。当隧道两端地形条件受限制,确定不能满足表 3-8 所列数值时,还应采取其它措施确保行车安全;

(4)当隧道净宽大于所在公路路基宽度时,两端接线应有不短于 50m 的同隧道等宽的加宽段,并设计过渡段加以衔接。当隧道净宽度小于所在公路的路基宽度时,两端接线仍然按等级公路标准设计,与隧道洞门端衔接。隧道内的路肩宽度与一般道路相比要缩小很多,需要进行平滑的过渡,应在适当的距离内收缩,使汽车进出隧道时顺利。为此,通常根据设计车速设计成 1/25 – 1/50 的楔形过渡段,在这个收缩过渡段中,一般应有路缘石、护栏、路面标志线以及其它洞口附近的构造物等。另外,设计引线还应考虑

到接近洞口桥梁、路堤等。

第三节　衬砌内轮廓线及几何尺寸的拟定

27.公路隧道设计断面基本轮廓线有哪些？各基本轮廓线的含义是什么？

答：公路隧道设计断面基本轮廓线主要包括衬砌内轮廓线、衬砌外轮廓线与实际开挖线，见图 3-3，它们的基本含义如下：

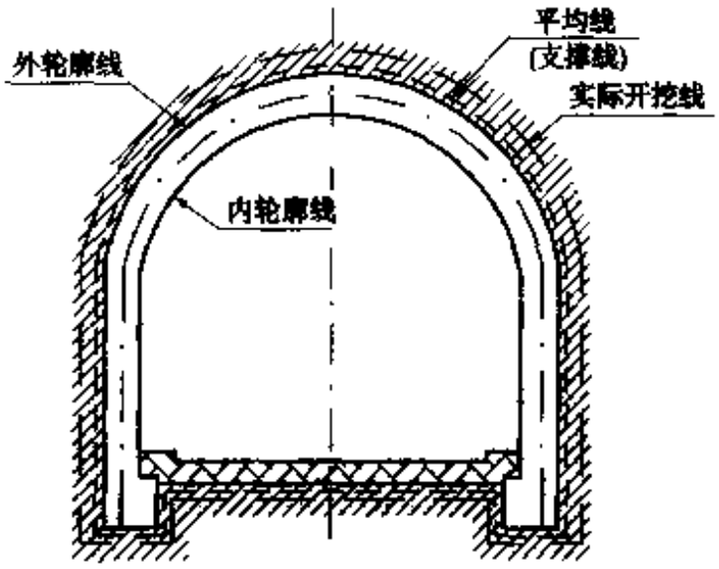


图 3-3　隧道断面轮廓图

(1)衬砌内轮廓线：它是衬砌的完成线，在内轮廓线之间的空间即为隧道的净空断面。该线应满足所围成的断面积最小，适合围岩压力和水压力的特点，以既经济又适用为目的；

(2)衬砌外轮廓线：为保持净空断面的形状，衬砌必须有足够的厚度(或称最小衬砌厚度)的外缘线。为保证衬砌的厚度，侵犯该线的山体必须全部清除掉，木质临时支撑或木模板等也不应侵入，因此，该线又称为最小开挖线；

(3)实际开挖线：为保证衬砌外轮廓，开挖时往往稍大，尤其用钻爆法开挖时，实际开挖线不可避免的成为不规则形状。因为它比衬砌外轮廓线大，所以又称为超挖线，超挖部分的大小叫超挖

量，一般不应超过 10cm。实际上凹凸不平，这样 10cm 的限制线只能是平均线，它是设计时进行工程量计算的依据。施工中，尤其是用钻爆法施工时，很难掌握刚好达到平均线，常常比它还要大，这就造成了不必要的工程量，如何控制它，至今仍为一个难题。按设计要求所有超挖部分，都要用片石回填密实。由于施工的困难，不容易做到密实。但这是设计与施工中都应着重强调的问题。

28. 如何用作图法确定公路隧道圆形断面内轮廓线？

答：公路隧道圆形断面内轮廓线可用作图方法确定，其具体方法如下：

确定公路隧道内轮廓线时，以公路建筑限界为基准，并附加上通风所需要的断面。如果有侧压力则需要设置仰拱，设仰拱时应考虑水压力。在膨胀性山体和受到大水压时，通常把圆形闭合断面作为基本形状。圆形断面内轮廓线确定方法见图等 3-4a)。

假定公路建筑限界已确定，其控制点为 a、b、c 、d4 个点，分别作 ab、ac、ad 的垂直平分线，在断面对称轴上得到 3 个交点 O_1、O_2、O_3，取其中最高（至路面）者作为圆心 O_2。由于施工精度上要求 a、b、c、d 各点至少需要 10cm 以上的富余量，因此，在 Oa 连线的延长线上取 $aA \geqslant 0.1$m，以 OA 为半径画圆即得内轮廓线的基本部分。

在建筑限界以上的剩余空间，可以用于通风。如采用纵向诱导通风时，可悬挂射流式通风机。如采用横向通风时，可吊挂顶板围成通风管道。路面板下剩余的空间，可以用做通风和通路，除了膨胀性岩体及水压很大时需要设置仰拱外，一般可不设置，此时路面板下可用于埋设排水构造物。排水构造物的敷设深度，除高寒地区设保暖水沟外，一般 0.5m 是足够的。当侧压力大需设置仰拱时，其半径 $O'e \approx 2 \times OA$。

建筑限界的两侧空余地方，ab 之间可以作为设置事故电话和放置灭火器的地方，bc 之间可以安装照明灯具。

圆形断面常常用于盾构法和水下隧道、膨胀性围岩以及接近圆形的山岭隧道。

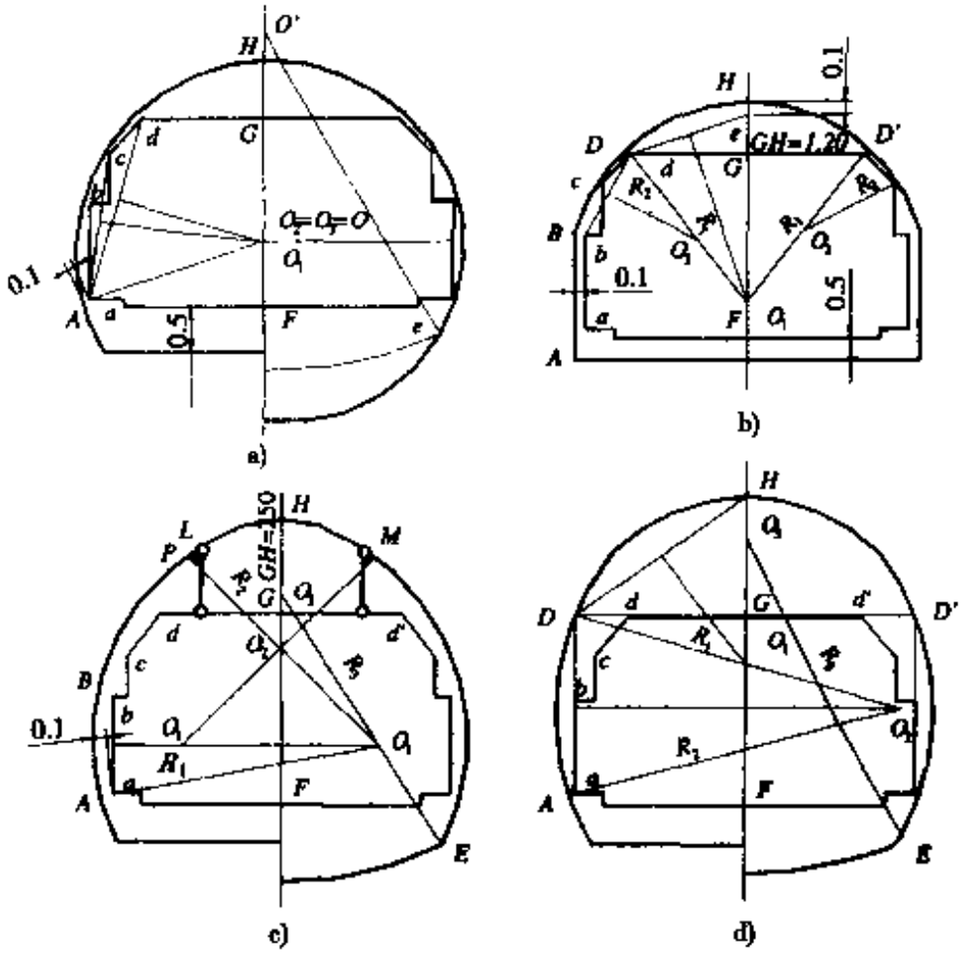


图 3-4　隧道内轮廓线确定

a)圆形断面;b)不设仰拱的三心圆拱断面;c)在顶板以上设小断面通风管道的断面;d)在顶板以上设大断面通风管道的断面

29.如何用作图法确定公路隧道直墙式衬砌断面内轮廓线?

答:公路隧道直墙式衬砌断面内轮廓线可用作图方法确定,其具体方法如下:

围岩较好,一般不产生较大的侧压力,不需要设仰拱,可以采用直墙,此时隧道的净断面积最小,如图 3-4b)所示。如果在建筑限界以上设置射流风机,则应使 $GH = 1.0 \sim 1.2\text{m}$(根据选用的射流风机的实际尺寸确定),例如,取 $GH = 1.2\text{m}$,取施工允许误差 $He = 0.1\text{m}$,则得点 e,作 ed 的垂直平分线并与断面对称轴相交于点 O_1,以 O_1H 为半径作弧 $\overset{\frown}{\text{DHD}'}$ 即为拱部的内轮廓线。由建筑限界 ab 向外取富余量 0.1m,引 AB 平行于 ab,求 bd 的垂直平分线

与 O_1D 相交于 O_2，以 O_2D 为半径作弧并与 AB 相交于 B，与弧 $\overset{\frown}{DHD'}$ 相交于 D，则 $ABDH$ 即为内轮廓线。这是一个坦三心圆拱，适用于无明显断层和围岩结构完整的地质条件，如果隧道长度不很长(600～800m)，使用射流风机已经足够。

30. 如何用作图法确定公路隧道曲墙式衬砌断面内轮廓线?

答：公路隧道曲墙式衬砌断面(顶板以上设置通风道时)内轮廓线可用作图方法确定，其具体方法如下：

一般通风道都设置在顶板以上，如果设在路面板以下，则车道板必须采用钢筋混凝土结构，造价很高，既不经济也无必要。设置通风道的原则是既要使通风道的断面积小，又要使内轮廓线与建筑限界的侧墙部分的剩余空间最小，还要使拱部与侧墙为内轮廓线过渡圆滑，适合受力特点。例如，长度为 1km 左右的隧道，由两个洞口进行半横向通风时，所需通风道面积约为 8～10m^2，属于小断面通风道，如图 3-4c)所示，此时取 a、b 点为控制点，求 ab 平分线，在线上找一点 O_1，取 O_1A 为半径(R_1)作弧 AB。在弧 AB 的延长线上取点 P，将 O_1P 与对称轴的交点 O_2 作为圆心，画 O_2P 圆时要试作，使之在 H 点附近通过。所得到的弧 $ABPH$ 即为内轮廓线。需要设置仰拱时，取 $O_3P(=R_3)$近似等于 2 倍的 O_2P。这种设置通风道的方式，当顶板两端没有设置支座(沿纵向)的位置时，则需要在 L 点、M 点埋置吊杆。吊设顶板适合于改建增设通风的情况。

隧道的长度很长，就需要全横向通风，通风道断面积就变大。半横向通风时，如果所需通风量较大，通风道断面积也会变大。此时顶板要变宽，拱高需增大，如图 3-4d)所示。例如，需通风道断面积为 20m^2 时，用趋进法作图。首先在 Gd 的延长线上取点 D，使 DG 约等于建筑限界宽度的一半(试取时可将 ab 延长与 Gd 交于 D)，GD 不应比其超过太多(以 $GD - aF < 1$m 为限)。再在 $GD \approx (1.2 \sim 1.3)GH$ 左右取点 H，作 DH 的垂直平分线并与对称轴相交

于 O_1，以 O_1D 为半径(R_1)画圆弧 DHD'，校核该弓形面积，调整到较预定面稍大为止。再次，求 AD 的垂直平分线与 DO_1 的交点 O_2，并以 O_2A 半径(R_2)画弧 AD，ADH 即为内轮廓线。需要设仰拱时，取 $R_3 = 2R_1$。

开挖断面积大于 100m² 的长大隧道，断层、不良地质等影响更大。可考虑设置通风竖井及平行导坑进行通风，使隧道本身断面尽量缩减到最小程度。

31. 公路隧道衬砌断面几何尺寸确定的基本方法是什么?

答：公路隧道衬砌断面尺寸参数主要包括衬砌内轮廓线、轴线与外轮廓线参数，它们的确定方法如下：

(1)公路隧道衬砌断面内轮廓几何尺寸的拟定

拟定衬砌内轮廓尺寸的各参数如图 3-5 所示。

$$\begin{cases} r_1 + a - r_2\cos\varphi_2 = f \\ r_2\sin\varphi_2 - a = b \\ r_1 + \dfrac{a}{\sin\varphi_1} = r_2 \end{cases} \tag{3-1}$$

式中：b——公路建筑限界宽度，其值为行车道宽度加上两侧路缘带与人行道宽度的总和，两侧还应分别加上 5～10cm 的施工误差；

f——拱顶至拱脚的矢高，按通风量所需通风面积确定，并保证拱轴线受力合理；

φ_1——内径 r_1 画出的圆曲线的终点截面与竖直面的夹角；

a——内径 r_1、r_2 的圆心 O_1 与 O_2 之间的水平距离。

以上 4 个参数必须根据限界要求预先给定，代入式(3-1)后解出其余 3 个参数 r_1、r_2 及 φ_2。其中，r_1、r_2 为第一个内径和第二个内径；φ_2 为拱脚截面与竖直截面的夹角。曲墙式边墙内径 r_3 由参数 H_1 及 b_1 确定，见图 3-6。

$$r_3 = \frac{H_1 + b_1}{2(H_1\sin\varphi_3 + b_1\cos\varphi_3)} \tag{3-2}$$

$$\varphi_3 = 90° - \varphi_2 \tag{3-3}$$

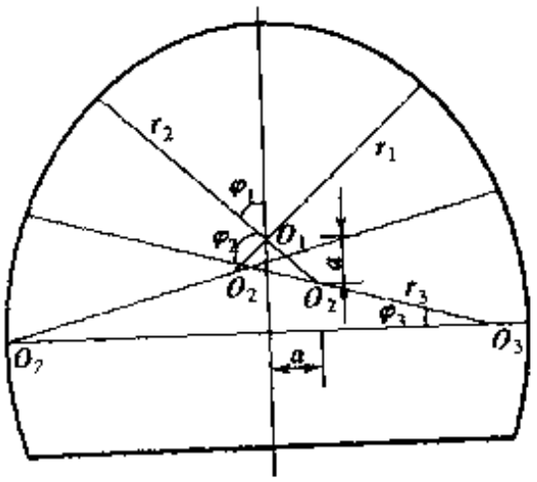


图 3-5　内轮廓线计算图示

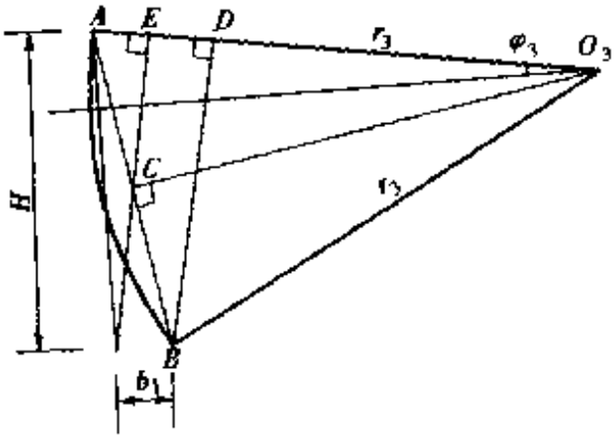


图 3-6　边墙内径 r_3 计算图示

(2)轴线与外轮廓线

对于拱的轴线和外轮廓线的计算不存在困难。等截面拱的计算比较简便,变截面拱圈尺寸的计算则比较繁琐,参见图 3-7,可按以下公式计算:

$$R_1 = m + r_1 + d_0 \tag{3-4}$$

$$R_2 = m + r_2 + d_0 \tag{3-5}$$

$$\begin{cases} \Delta d = d_b - d_0 \\ m = \dfrac{\Delta d(r_2 + d_0 + 0.5\Delta d)}{(r_2 + 0.5d_0)(1 - \cos\varphi_2) - 0.5\Delta d\cos\varphi_2} \\ r'_1 = m' + r_1 + 0.5d_0 \\ r'_2 = m' + r_2 + 0.5d_0 \\ m' = \dfrac{0.5\Delta d(r_2 + 0.5d_0 + 0.25\Delta d)}{(r_2 + 0.5d_0)(1 - \cos\varphi_2) - 0.5\Delta d\cos\varphi_2} \end{cases} \tag{3-6}$$

式中:R_1、R_2 为外轮廓线半径;r'_1、r'_2 为轴线半径;d_0 为拱顶厚度,d_w 为拱脚截面厚度,二者都是预先设定的。若预先设定 d_0 和 d_w 时,则水平线以上部分曲边墙尺寸计算公式如下:

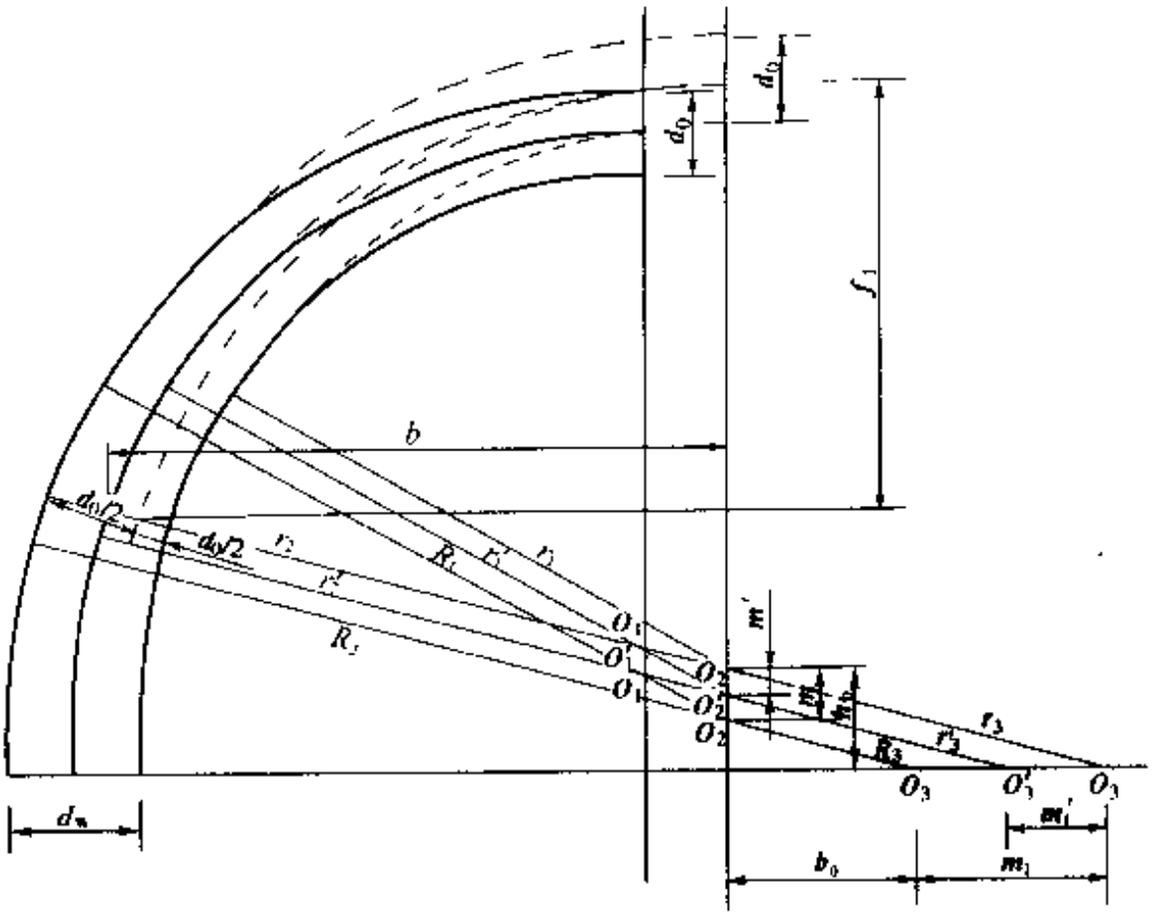


图 3-7　变截面拱圈尺寸的计算图式及水平线以上部分曲边墙尺寸计算图式

$$
\begin{cases}
m_1 = \dfrac{m}{\mathrm{tg}\varphi_3} \\
m'_1 = \dfrac{m'}{\mathrm{tg}\varphi_3} \\
h_b = (r_3 - r_2)\sin\varphi_3 \\
R_3 = R_2 + \dfrac{h_b - m}{\sin\varphi_2} \\
r'_3 = r'_2 + \dfrac{h_b - m'}{\sin\varphi_2} \\
b_0 = \dfrac{h_b - m}{\mathrm{tg}\varphi_3} \\
d_w = R_3 + m_1 - r_3
\end{cases}
\tag{3-7}
$$

若预先设定 d_0 和 d_w 时，则需先计算 m 及 d_w 值：

$$\begin{cases} m = \dfrac{d_w - d_0}{1 + (\sin\varphi_2 - 1)/\cos\varphi_2} \\ d_w = \sqrt{R_2^2 - m^2\sin^2\varphi_2} - r_2 - m\cos\varphi_2 \end{cases} \tag{3-8}$$

水平线以下部分曲边墙外缘为斜线时，其斜线与以 R_3 为半径的外轮廓线相切，见图 3-8，通常 R_3、H_3 和 B_3 为预先设定，有关尺寸按以下公式计算：

$$\begin{cases} a = \sqrt{H_3^2 - 2R_3B_3 + B_3^2} \\ h_3 = \dfrac{a}{R_3^2 + a^2}[aH_3 + R_3(R_3 - B_3)] \\ b_3 = \dfrac{a(H_3 - h_3)}{R_3} \end{cases} \tag{3-9}$$

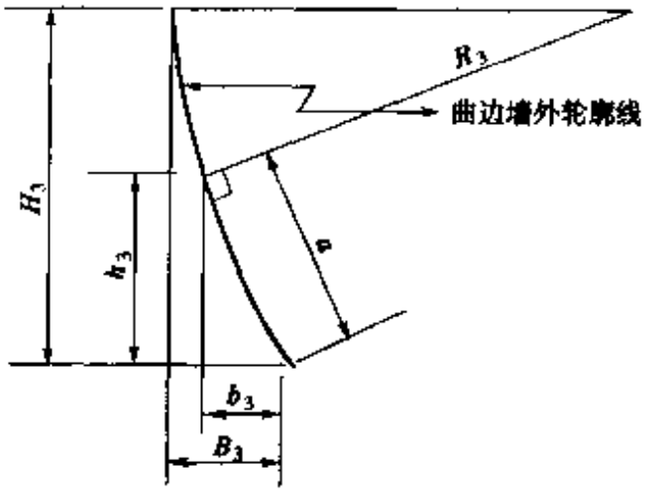


图 3-8　边墙外缘斜线计算图

三心圆平拱衬砌外轮廓线的计算，见图 3-9。通常 d_0、d_w、r_1、r_2 为预先设定，此时：

$$\begin{cases} m = \dfrac{d_w - d_0}{2 - \sqrt{2}} = 1.707(d_w - d_0) \\ R_1 = r_1 + d_0 + m \\ R_2 = r_2 + d_w + m \end{cases} \tag{3-10}$$

32. 公路隧道衬砌结构图形确定的原则是什么？

答：公路隧道衬砌结构图形确定的原则如下：

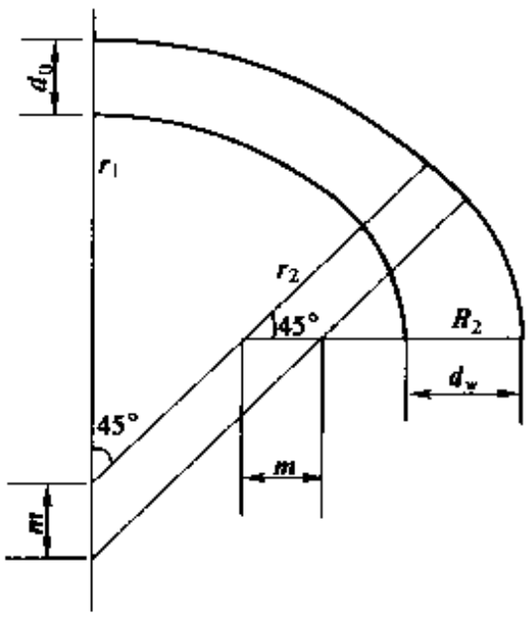


图 3-9　三心圆平拱外轮廓线计算图

(1)衬砌轴线形状应平顺,因为曲折的轴线会引起轴线与压力线产生较大的偏移;

(2)在垂直方向的压力作用下,拱圈轴线应接近二次抛物线,即拱顶部分轴线曲度大些;

(3)在侧压力作用下,边墙最好做成曲墙式。

33.公路隧道衬砌结构各部分结构主要尺寸初步拟定的基本原则是什么?

答:为了进行隧道衬砌结构的计算和验算,在设计经验的基础上,初步拟定各部分主要尺寸作为参考。公路隧道衬砌结构尺寸,主要按照围岩的坚固系数 f_{up} 值的不同,大致分为下列几种控制尺寸:

(1)隧道拱顶衬砌厚度 d_0 按岩石坚固系数 f_{up} 值之大小而确定,如表 3-9;

(2)衬砌拱圈的净矢高 $f_0=(0.4\sim0.25)\times L_0$ 之间(L_0 为拱圈的净跨径);

(3)拱脚的厚度:$d_b=(1.2\sim1.4)d_0$;

(4)边墙的厚度:$d_c=(1.0\sim1.5)d_b$;

(5)仰拱的厚度:$d_j=(0.5\sim0.8)d_0$。

拱顶衬砌厚度 d_0 与岩石坚固系数 f_{up} 关系表　　表 3-9

f_{up}	0.7	1.0	2.5	4	6	10
d_0(cm)	130	120	100	75	60	40

注：坚硬岩层 $f_{up} \geqslant 15$ 时，可采用无衬砌隧道洞身(但在洞口一般应修筑衬砌)；$f_{up} \geqslant 10$ 的岩层，可采用半衬砌(即只有拱圈衬砌，而无边墙衬砌)；在 $1 < f_{up} < 4$ 的岩层中，采用有底板厚度 20～40cm 的直墙式全部衬砌；$f_{up} < 1.0$ 的地层中，承受较大的地层垂直压力及主动土压力，采用带仰拱的封闭式曲墙全部衬砌。

34. 公路隧道装配式衬砌构造的目的与原则是什么?

答：公路隧道装配式衬砌构造的目的与原则分别如下：

(1)采用装配式隧道衬砌构造的目的

从坑道开挖岩层到修建永久衬砌工程之间间隔时间应当尽力减至最短，这是隧道建筑的一项基本原则。衬砌后，向永久衬砌背后压注水泥灰浆便能保证使衬砌与周围地层紧密连接，防止地层压力增长。

因为整体式混凝土衬砌施工很困难，仅适用于矿山法开挖的隧道，故此法很少采用，如采用装配式衬砌，可在预制厂或在工地预制场内以工业化方法制备装配式衬砌构件，然后运送到地下刚开挖好的坑道拼装，并在其后压注砂浆使其立即支护加固地层，以达到加快施工进度，缩短工期及降低成本等主要目的。

(2)隧道装配式衬砌设计原则

①衬砌分块应从每环的分块接头、防水与开挖等问题来全面考虑，分块要尽量大些，但避免过大、太重，否则，不便于施工(当地质条件良好和干燥无水时，方可采用拼装式衬砌)；

②砌块形状要求简单，易于在工厂预制；

③砌块的接头数目和接头总长要求尽量减少，以有利于防水，抗渗和防侵蚀等；

④若采用轻质混凝土装配式衬砌去代替重混凝土衬砌，则可以减轻砌块自重，容易同时满足本设计原则的前三条要求。

第四章　公路隧道的结构与构造

第一节　洞身衬砌

35.公路隧道洞身衬砌存在哪些基本类型？它们的适用条件是什么？

答：公路隧道衬砌，根据洞身围岩类别的不同可以采用下述各种类型：

(1)防护衬(亦称饰面衬砌)

防护衬的作用是防止坑道围岩的风化，适用于Ⅵ类围岩。一般在围岩表面喷射不大于5cm的混凝土层。在围岩极不容易风化及无局部掉块的情况，亦可不加防护。

(2)喷锚衬砌

如图4-1所示，喷锚衬砌适用于Ⅴ类及Ⅵ类围岩。喷混凝土厚6～15cm，必要时可增设钢筋网。岩石隧道掘进机是开挖岩石隧道的一种机械化切削机械，其开挖断面通常为圆弧形，开挖以后可采用喷射混凝土、喷锚衬砌或拼装预制构件衬砌等形式。

(3)大拱脚薄边墙衬砌

如图4-2所示，适用于Ⅴ、Ⅳ类围岩。边墙可用喷射混凝土做成，亦可用混凝土整体灌浇。

采用此类衬砌可使拱脚稳固地直接支承在两侧围岩上，以改善拱圈的受力条件，减少边墙的开挖及衬砌圬工数量，降低工程造价。

(4)直墙式衬砌

直墙式衬砌型式通常用于岩石地层垂直围岩压力为主要计算荷载、水平围岩压力很小的情况。一般适用于Ⅴ、Ⅵ类围岩，有时也可用于Ⅲ类围岩。对于公路隧道，直墙式衬砌结构的拱部，可以采用割圆拱、坦三心圆或尖三心圆拱。三心圆拱指拱轴线由三段圆弧组成，其轴线形状比较平坦（$r_1 > r_2$）时称为坦三心圆拱，形状较尖（$r_2 > r_1$）时称为尖三心圆拱，若 $r_1 = r_2 = r$ 时即为割圆拱，见图 4-3。

如果围岩完整性较好，在Ⅴ类围岩中，边墙可以采用连拱或柱，称为连拱边墙或柱式边墙，见图 4-4。

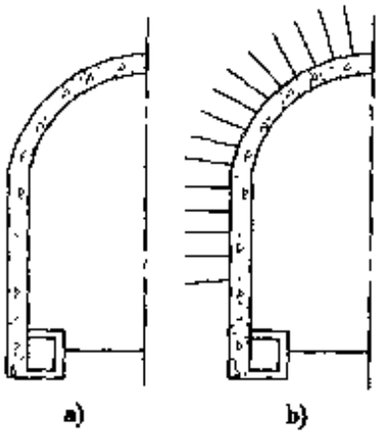


图 4-1 喷射衬砌与喷锚衬砌

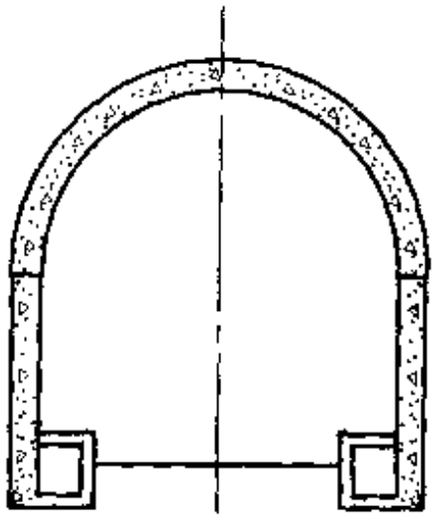


图 4-2 厚拱脚薄边墙

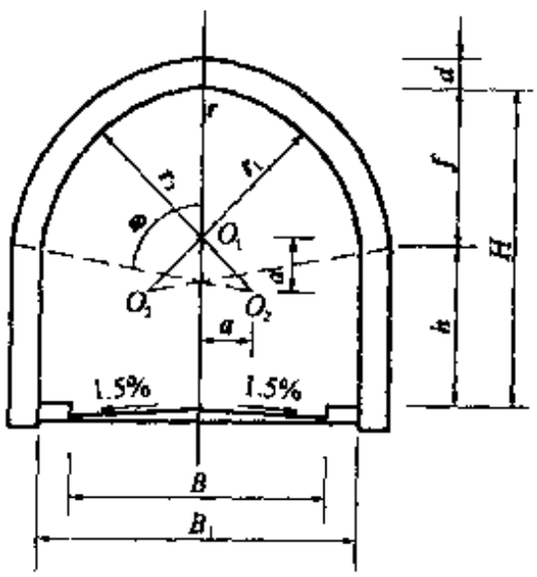


图 4-3 直墙式衬砌

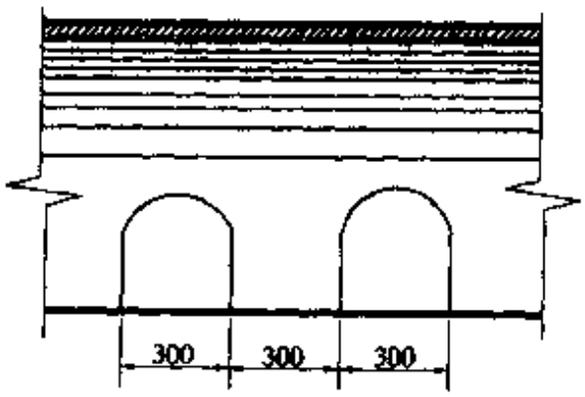


图 4-4 连拱边墙及柱式边墙

(5)曲墙式衬砌

适用于Ⅲ~Ⅰ类围岩。一般在Ⅰ、Ⅱ类围岩中，围岩水平压力甚大，或除了围岩垂直压力外，常有底压力，因此，可把边墙做成曲线形状。当地质条件较差时，为防止衬砌沉陷，抵御底鼓压力，使衬砌形成环状封闭结构，在隧道底面设置仰拱，称为带仰拱的封闭式曲墙衬砌，如图 4-5 所示。当基础地基条件比较好，可采用无仰拱的曲墙式衬砌，图 4-6 所示。

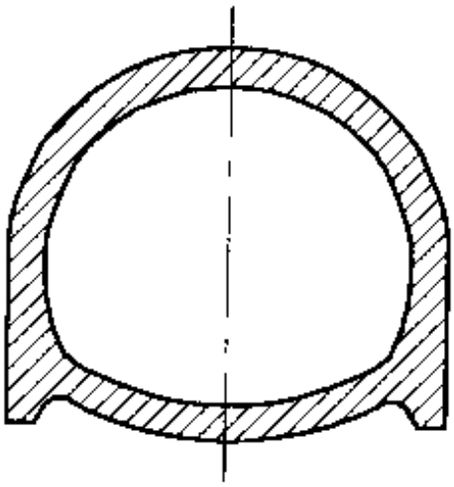


图 4-5　封闭式曲墙衬砌

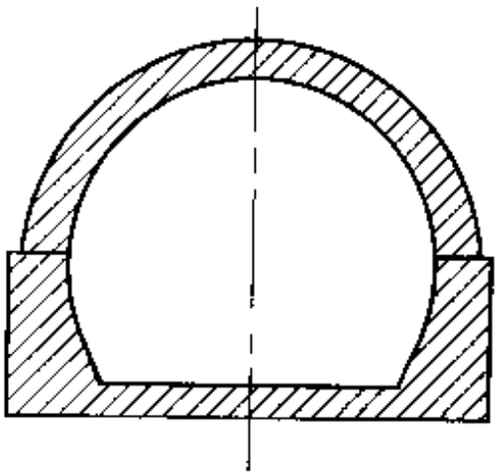


图 4-6　无仰拱的曲墙衬砌

(6)圆形断面衬砌

为了抵御膨胀性围岩压力，山岭隧道也可以采用圆形或近似圆形断面，因为需要较大的衬砌厚度，所以多半在施工时进行二次衬砌。对于水底隧道，由于水压力较大，采用矿山法施工时，也多半用二次衬砌，或者采用铸铁制的方形节段。水底隧道广泛使用盾构法施工，其断面为全圆形。通常用预制的方形节段在现场拼装。此时，在顶棚以上的空间和路面板以下的空间可以用作通风管道，车行道两侧的空间可以设置人行道或自行车道，有剩余空间时还可以设置电缆管道等。水底隧道的另一种施工方法是沉管法，有单管和双管之分，其断面可以是圆形，也可以是矩形。

岩石隧道掘进机是开挖岩石隧道的一种机械化切削机械，其开挖断面通常为圆形，开挖后可以用喷射混凝土衬砌、喷锚衬砌或

拼装预制构件衬砌等多种形式。

(7)矩形断面衬砌

如上所述,用沉管法施工时,其断面可以用矩形型式。用明挖法施工时,尤其在修筑多车道隧道时,其断面广泛采用矩形。这种情况,回填土厚度一般较小,加之在软土中修筑隧道时,软土不能抵御较大的水平推力,因面不应修筑拱形隧道。另一方面,矩形断面的利用率也较高,见图 4-7。城市中的过街人行地道,通常都在软土中通过,其断面也是以矩形为基础组成的。

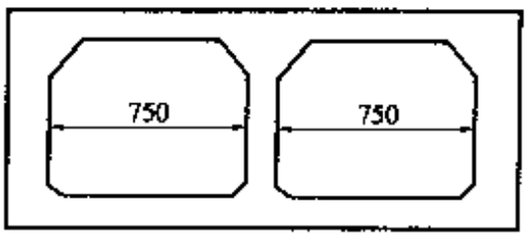


图 4-7 矩形断面衬砌

(8)喷射混凝土衬砌、喷锚衬砌及复合式衬砌

为了使喷射混凝土衬砌结构的受力状态臻于理想化,要求采用光面爆破开挖,使洞室周边平顺光滑,成型较准确,减少超挖或欠挖。然后,通过监控量测设计,确定在适当的时间喷射混凝土,即为喷射混凝土衬砌。根据实际情况,需要安装锚杆的则先装设锚杆,再喷射混凝土,即为喷锚衬砌。如果以喷射混凝土、锚杆或钢拱架、钢筋网中的一种或几种组合作用,初次支护只是对围岩进行加固,维护围岩稳定,防止有害松动。待初次支护的变形基本稳定后,进行现浇混凝土作为二次支护,即为复合衬砌。为使衬砌的防水性能可靠,保持无渗漏水,采用塑料板作复合式衬砌中间防水层是比较适宜的,如图 4-8 所示。

(9)钢花拱或钢筋混凝土衬砌

当隧道通过坍方、断层地段,或在Ⅰ类围岩中,由于作用荷载很大,采用曲墙式混凝土衬砌,因其截面太厚,施工困难,即费料费工,故此宜采用带有劲性钢骨的、厚度较小的钢花拱衬砌或钢筋混凝土衬砌。

(10)结构不对称的偏压衬砌

当地面坡度陡于 1:0.25 时,线路中线外侧山体覆盖较薄,或由于地质构造引起偏压,使衬砌结构承受显著不对称的围岩压力,

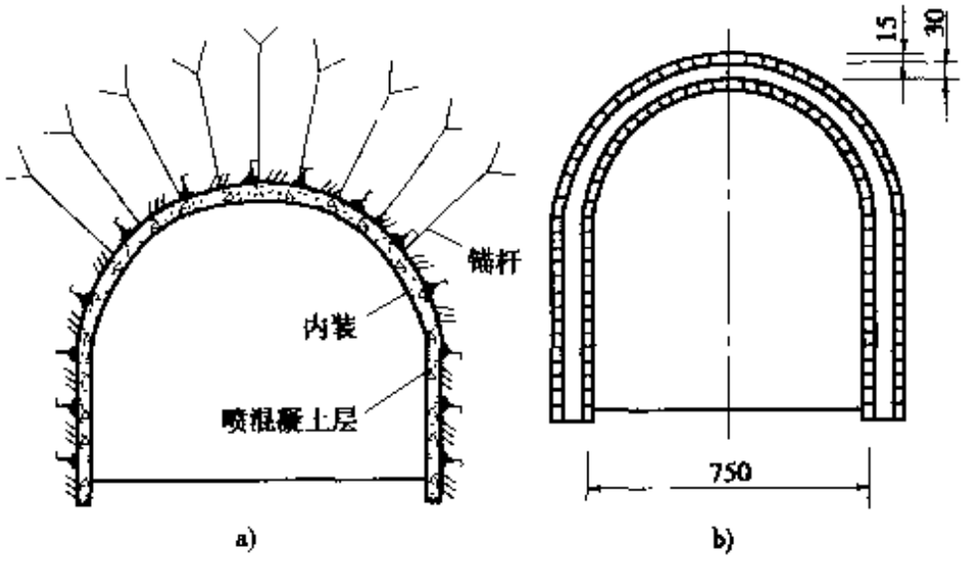


图 4-8　喷锚衬砌与复合衬砌

a)组合式衬砌;b)复合式衬砌

适宜采用不对称的衬砌结构,即偏压衬砌。偏压衬砌适用 Ⅳ ~ Ⅱ 类围岩,根据其受力要求,一般设计为对称的曲墙带仰拱的衬砌结构型式。也有设计为不对称式的偏压衬砌(如图 4-9)所示。

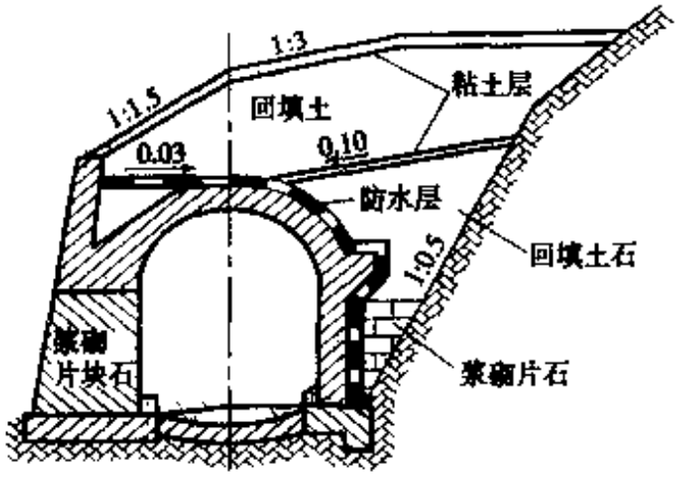


图 4-9　不对称偏压衬砌

(11)喇叭口隧道衬砌

在山区双线隧道，有时为绕过困难地形或避开复杂地质地段，减少工程量，可将一条双幅公路隧道分建为二个单线隧道或二条单线并建一条双幅的情况（或车站隧道中的过渡线部分），衬砌产生了一个过渡区段，这部分隧道衬砌的断面及线间距均有变化，相应成了一个喇叭型，称为喇叭口隧道衬砌，如图 4-10 所示。

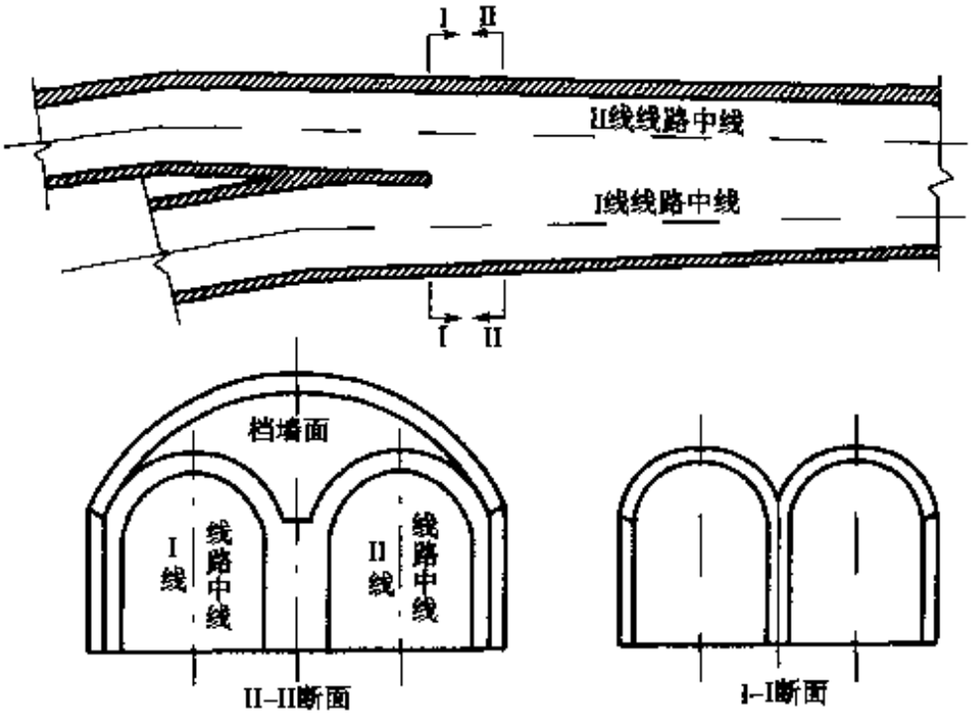


图 4-10　喇叭口隧道衬砌示意图

36. 公路隧道衬砌设计存在什么基本原则与要求?

答:公路隧道衬砌设计是极其复杂的,必须遵循一些基本的原则与要求,其内容如下:

(1)为了保证公路隧道的稳定,隧道一般应衬砌,衬砌可采用整体式或复合式衬砌。在 IV 类及以上围岩的隧道中,除洞口外,可采用锚喷衬砌,VI 类围岩也可采用喷浆防护;

(2)衬砌结构类型和尺寸,应根据使用要求、工程地质条件、围岩类别、埋置位置及施工条件等,通过工程类比和结构计算综合分析确定,必要时,可通过试验论证确定;

(3)除了上述基本要求外,隧道衬砌还应遵循如下规定:

①隧道洞口内应设置加强衬砌段,其长度以伸入洞内深埋段一般不宜小于 10m;

②围岩较差段的衬砌应向围岩较好段延伸 5m 以上。偏压衬砌段应延伸至一般衬砌段内 5m 以上;

③设仰拱的隧道,路面下应以浆砌片石或贫混凝土回填;

④在较硬地层和衬砌结构类型变化处,应设置沉降缝。

(4)辅助坑道、连络通道、避车洞等与隧道连接处的衬砌设计应作加强处理。

37.公路隧道在什么情况下采用锚喷衬砌？什么情况下不宜采用锚喷衬砌？

答:公路隧道采用锚喷衬砌宜在Ⅳ类及以上围岩中进行,具体情况如下:

(1)当围岩良好、完整、稳定地段,如Ⅴ类及以上,只需采用喷射混凝土衬砌即可。喷射混凝土起到如下作用:

①局部稳定围岩表层少数已松动的岩块;

②保护、加固围岩表面,防止风化,使其表面强度较高并与围岩密贴,与围岩形成表面较平整的整体支承结构,确保营运安全;

(2)在层状围岩中,其结构面或产状可能引起不稳定,开挖后表面张裂、岩层沿层面滑移或受挠折断,可能引起坍塌。块状围岩受软弱结构面交叉切割,可能形成不稳定的危石。加入了锚杆支护,通过联结作用和组合原理保护和稳定围岩,并通过喷射混凝土表面封闭和支护的配合,使围岩和锚杆喷射混凝土形成一个稳定的承载结构;

锚杆与层面垂直,就能够充分发挥锚杆的锚固作用,有效地增加层面或结构面间压应力和抗滑动摩阻力。锚杆应与稳定围岩相联结,它的含意有两个:

①与没有松动的较完整的稳定的围岩体相联结;

②有足够锚固长度,伸入松动围岩以外或伸入承载环以内。

(3)当围岩呈块(石)碎(石)状镶嵌结构,稳定性较差时,锚喷混凝土的主要作用原理是整体加固作用。依靠锚杆和钢筋网喷混凝土的支护力和锚杆的联结及本身的抗剪强度,提高围岩承载圈的抗压强度和抗剪强度,达到对围岩的整体加固作用,使围岩和锚喷支护共同成为一个承载结构。

当围岩块度较小,围岩的稳定性较差时,围岩内缘及锚杆之间会出现松弛带,要通过钢筋网喷混凝土来保证其稳定性,使其不进

一步松弛、甚至坍落，保证承载圈的有效性。而且在支护过程中也可能产生较大的形变和形变压力，因而加强喷层结构，提高其强度和抗变形能力都是必要的。要加入钢筋网，以提高其抗拉强度和整体强度，减少裂缝，并避免过厚的喷层厚度，且使结构更可靠。

(4)锚喷衬砌的内轮廓线，建议采用曲墙式的断面形式，是为了使开挖时外轮廓线圆顺，尽可能减少围岩中的应力集中，减小围岩内缘的拉应力，尽可能消除围岩对支护的集中荷载，使支护只承受较均匀的形变压力，使喷层支护都处在受压状态而不产生弯矩。

锚喷衬砌外轮廓线除考虑锚喷变形量外宜再预留 20cm，是由于：

①锚喷衬砌目前还是正在推广的新型结构，无论设计、施工都经验不足，尤其是公路部门，正规施工实例不多；

②锚喷支护是柔性结构，厚度较薄，变形量比较大，预留后就能保证以后有可能进行补强和达到应有的补强厚度，并留有余地；

③预留 20cm，还估计到如锚喷衬砌改变为复合衬砌时，能保证复合衬砌的第二次衬砌最小厚度 20cm。

公路隧道在有些情况是不能采用锚喷衬砌的，这些情况如下：

(1)大面积洪水地段，喷射混凝土很难成型且即使成型，其强度及与围岩的粘结力无法保证；锚杆与围岩的粘结，锚杆的锚固力也极难保证。这样，就难于发挥锚喷所应有的作用；

(2)膨胀性围岩和不良地质围岩，如粘土质胶结的砂岩、粉砂岩、泥砂岩、泥岩等软岩，开挖后极易风化、潮解，遇水泥化、软化、膨胀，造成大的围岩压力，稳定性极差甚至流坍。堆积层、破碎带等不良地质，往往有水，施工时缺乏足够的自稳能力和一定的稳定时间。这样，锚杆无法同膨胀性围岩和有水堆积层、破碎带形成可靠的粘结，喷射混凝土与围岩而也很难形成良好的粘贴。因此，锚喷支护就难于阻止围岩的迅速变形，克服很大的压力，也就难于通过锚喷支护形成可靠、稳定的承载圈。

围岩及其中的地下水如有侵蚀性，可能造成衬砌的腐蚀，则喷射混凝土较薄，锚杆材料等都经不起腐蚀，就不可能保证锚喷衬砌

的长期使用；

(3)寒冷和严寒地区有冻害的地方，衬砌后出现冻胀是完全可能的，但锚喷衬砌抗冻胀能力较差，故这些地区隧道内有可能有冻害的地段，就不宜使用锚喷衬砌；

(4)对衬砌有特殊要求的隧道或地段，如洞口地段，要求衬砌内轮廓很整齐、平整；辅助坑道或其它隧道与主隧道的连接处及附近地段；有很高的防水要求的隧道；还有围岩及覆盖太薄，且其上已有建筑物，不能沉落或拆除者等，都不宜采用锚喷支护衬砌。

38.公路隧道复合式衬砌设计应考虑哪些问题？

答：公路隧道复合式衬砌设计应考虑如下问题：

(1)复合式衬砌设计应综合考虑包括围岩在内的支护结构、断面形状、开挖方法、施工顺序和断面的闭合时间等因素，力求充分发挥围岩所具有的自承能力；

(2)复合式衬砌由外层和内层复合面成，其外层为初期柔性支护，可采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢支撑等支护形式，单一或合理组合而成；内层为二次衬砌，一般采用现浇混凝土衬砌。两衬砌层间宜采用防水夹层措施；

(3)确定开挖尺寸时，应预留必要的初期支护变形量，其量值根据围岩条件、支护刚度、施工方法等确定，并应量测校正。

39.公路明洞衬砌设计时应注意的基本问题是什么？

答：公路明洞衬砌设计时应注意的基本问题如下：

(1)当采用拱形明洞断面型式时，宜按相应围岩隧道整体式衬砌进行验算。半路堑拱形洞之外边墙及拱圈宜适当加厚，并验算其整体滑动、倾覆稳定性；

当拱形明洞边墙路背侧压较大及地层松软时，宜采用曲墙带仰拱型式，并应注意与同类围岩隧道边墙的衔接。拱形明洞拱圈宜采用混凝土或钢筋混凝土结构；

(2)棚洞顶板一般可采用T形、I形或空心板截面构件，内边

墙可采用重力式挡墙结构；当内侧岩体完整、坚固、无地下水时，可采用锚杆加固围岩式挡墙；外侧边墙可视地形、地基、边坡坍方、落石等情况选用墙式、柱式、刚架等类型；

(3)在地质情况变化较大地段，应设置变形缝；气温变化较大地区，应根据长度等情况设置伸缩缝。

40.通过不良地质和特殊围岩的公路隧道衬砌应遵循哪些基本原则？

答：通过不良地质和特殊围岩的公路隧道衬砌应按下列原则设计：

(1)衬砌应采用曲墙带仰拱的混凝土或钢筋混凝土结构，也可采用复合式衬砌，必要时可采用钢拱支撑混凝土衬砌结构；

(2)衬砌背后应回填密实、全断面压浆，必要时应结合施工向围岩中压注水泥砂浆或其它化学浆液；

(3)根据围岩含水及破碎情况，应采取妥善措施，尽量减少地面渗漏水及地下围岩涌水，使围岩趋于稳定；

(4)通过软弱和膨胀性围岩的隧道衬砌，应尽量采用接近圆形的曲墙带仰拱的复合式衬砌形式。衬砌应与围岩密贴，并按围岩的变形和压力增长特性来决定衬砌施工和断面闭合的时间。

41.滑坡区公路隧道衬砌设计应该注意的基本问题是什么？

答：滑坡区的公路隧道衬砌设计，应充分考虑滑坡推力、隧道埋深与离滑动面应有足够的距离。

滑坡区修筑公路隧道教训是很多的，往往施工极其困难，成本很高。修成后，难免仍有病害，极难整治，随着时间的推移，报废的也不乏先例，故应绕避为主。

公路隧道离滑面的距离，应使隧道不因滑坡的存在面产生偏压或浅埋的情况。

离滑面的距离一般可参照两相邻隧道最小净距值的上限值考虑。

当经过综合的技术经济比较，路线平、纵、横不宜更动，必须在滑坡区修筑隧道并作为整治滑坡的主要措施时，应充分考虑滑坡的推力，采取特殊的设计措施，以确保滑坡及隧道的稳定与安全。这样，公路隧道只是滑坡体中的一个支挡结构物，没有滑坡的稳定，也就没有隧道的稳定性。因此，要采取全面规划、综合治理措施，以确保滑坡体的稳定，确保滑坡与隧道都不留后患。综合治理措施中主要有：

(1)防水的截排水沟、支撑盲沟，支撑排、集、渗沟，支撑泄水隧道、涵洞；

(2)支撑抗滑挡墙、抗滑桩等；

(3)减载与反压，压浆加固软弱面、滑面等。

42. 黄土地层的公路隧道衬砌设计应注意什么问题？

答：黄土地层的公路隧道衬砌应根据黄土围岩分类及其物理力学性能和施工方法等确定衬砌结构。衬砌背后应用浆砌片石等回填，不宜压浆。

黄土地区公路隧道的围岩是老黄土或新黄土。由于黄土的多孔性与湿陷性，黄土的抗剪强度和抗压强度随含水量的增加而显著降低，因此，水对黄土地层的危害性极大，对黄土围岩的稳定性、围岩的压力有直接影响，且反应灵敏。

黄土地区公路隧道衬砌背后回填措施中，不宜压浆，以免水对黄土围岩面和黄土裂隙中黄土的侵蚀、软化，影响围岩面的稳定和围岩的压力，并影响其与衬砌的密贴性。

通过黄土地层的公路隧道，新、老黄土物理力学性能和围岩稳定性有很大的差异，施工方法的不同也直接影响黄土的扰动情况，影响稳定性，影响荷载大小和荷载图式，故应据此来确定衬砌结构形式。

黄土公路隧道中，特别是新黄土、有水黄土甚至水中黄土，设计隧道衬砌时，应用可能的多种最不利荷载进行计算，使设计的衬砌能够适应施工期间和使用期间可能出现的各种荷载情况。常见

的有拱部坍方荷载，拱腰坍方偏载，两侧拱腰坍方荷载，包括两侧拱腰纵梁压紧抽不出来的情况。

针对这些荷载情况，衬砌拱部宜用圆拱，墙部应用曲墙。老黄土墙基承载力强的可展宽墙基础，不设仰拱。一般情况下应设仰拱。

43. 穿越溶洞的公路隧道设计存在哪些问题？

答：穿越溶洞的公路隧道应根据溶洞充填状况和水量大小及隧道所处的位置确定其衬砌类型和回填加固方法。

公路隧道穿越溶洞，设计上处理比较复杂，应根据溶洞的实际情况和隧道在其中所处的位置灵活确定。溶洞情况包括空穴大小，围岩壁稳定与否，水量大小和充填状况等等。各种情况处理措施说明如下：

(1)水的处理，包括对隧道有影响的围岩壁的渗漏水和涌水，溶洞中的流水，充填物中的地下水，都宜妥善综合治理，“排”、“截”、“堵”、“防”相结合；

(2)护拱压浆加固是当溶洞在拱的上方，施工时又遇到上部不宜全部清除后再来回填，而以护拱加固压浆来处治上部溶洞充填物并加固、稳定溶洞上部围岩。这样，既减少了回填量，又减小了衬砌荷载，也保护了衬砌拱部；

(3)大溶洞、充填多、水量丰富等均不宜堵塞、加固、封闭。如侧墙外侧高度不太大，则可以墙隔离支挡；如在隧道底或隧道底水平以下，则宜采用梁、拱结构跨越；如在拱部以上，或是整个洞身周围，则应尽可能绕越和避让。

44. 瓦斯地区公路隧道衬砌设计中防瓦斯的基本措施是什么？

答：通过含瓦斯地层的公路隧道，衬砌及防瓦斯层的一个特殊任务是防止围岩内的瓦斯逸入隧道内。公路隧道防瓦斯的基本措施是封闭。

(1)瓦斯地层围岩往往较差，在Ⅳ类围岩以下，故应采用曲墙

带仰拱的混凝土整体封闭式衬砌，能够较好地抵抗衬砌外面的瓦斯压力。在混凝土中，可加入发泡、增塑剂，提高混凝土的密实性和抗渗性，减少瓦斯的逸出量。如果采用双层复合式夹层衬砌。夹层接缝和夹层固定点又严密封焊，则是良好的防瓦斯的衬砌结构型式；

(2)衬砌接缝往往是瓦斯逸出的薄弱环节，故应采取严密的密封堵塞措施；

(3)衬砌背后压注水泥砂浆或沥青砂浆，是为了封闭围岩表面及裂隙，在衬砌周围形成防瓦斯逸出帷幕，减少瓦斯的逸出量。

外贴式防瓦斯层很难施工，且危险性和对人身危害都比较大，又难于保证质量。内贴式防瓦斯层，由于严密性和附着力都有限，故也难于彻底制止瓦斯的逸出。这两种措施一般是作为衬砌作好以后的补救和使用期间的养护措施。防瓦斯层可用沥青玻璃布或沥青油毛毡等。

45.公路隧道采用整体式深埋衬砌时应遵循什么规定?

答:公路隧道采用整体式深埋衬砌时，应遵循的规定说明如下：

(1)隧道一般跨度较大，荷载也较大。公路隧道内轮廓接近限界的高宽比较铁路双线隧道为小，其内轮廓拱部一般较铁路隧道平坦，墙高稍低，为减少拱肩及墙部的拉应力，提高围岩及结构的稳定性，衬砌结构型式宜采用曲墙式衬砌。施工时，公路隧道曲墙模板立柱(站带)是垂直的，对施工并不增加多少麻烦；

Ⅳ类及以上围岩，由于围岩稳定或基本稳定，拱部围岩荷载较小，且往往呈现较小的局部荷载；施工时，临时支撑，尤其是纵横梁一般都能撤走，超挖空间容易回填密实，不易形成偏载，衬砌工作条件较好，故衬砌截面可以采用等截面形式。面Ⅳ类以下围岩与上述情况往往相反，故以采用变截面形式为宜。

对Ⅳ类及以上围岩，墙部是稳定的，侧压力较小，故一般地区也可采用直墙式衬砌，便利施工，并可减少墙部开挖量。

严寒地区隧道，只要围岩有地下水，在墙后就很容易产生冻胀，产生冻胀压力，使侧墙内移或开裂；而曲墙式衬砌其抗冻胀能力较强。在严寒地区调查，曲墙式衬砌隧道，墙部破坏的情况远小于采用直墙式衬砌的隧道，故严寒地区隧道，不管围岩等级如何，围岩只要有地下水，衬砌型式仍应采用曲墙式衬砌。

严寒地区隧道衬砌施工季节的温度远比严寒季节衬砌环境温度为高，故严寒地区隧道衬砌特别要强调根据情况设置伸缩缝，防止或减少衬砌因温度降低而收缩，引起衬砌开裂和破坏，造成病害。

III 类及以下围岩，地基松软，往往侧压力较大，故有采用曲墙式带仰拱的衬砌。设置仰供以后，不仅满足了地基承载力的要求，更重要的是能够减小沉落变形，调整围岩和衬砌的应力状态，提高侧墙抵抗侧压力的能力，使衬砌处于稳定状态。

(2)公路隧道内轮廓形状和尺寸，应接近隧道建筑限界，并使内轮廓的面积为最小，即净空断面最小。

内轮廓形状直接影响到隧道衬砌轴线形状，影响到轴线的合理性、衬砌厚度、开挖数量。当然，由于所采用的通风方式和施工方法也直接控制着衬砌的净高大小，影响内轮廓的形状。

隧道衬砌轴线形状应与围岩压力大小、压力图形与衬砌周边约束条件相适应，力求接近围岩对衬砌作用的压力线。因此应根据地质条件、围岩压力和施工条件，通过技术经济比较，合理地确定内轮廓形状和尺寸，获得一个既实用且总造价最低、施工又方便的最小净空断面。

为了避免围岩和衬砌的应力集中，造成围岩压力增加和衬砌的局部破坏，应注意衬砌内外轮廓的圆顺，避免急剧弯曲和棱角。

第二节　洞口与洞门

46. 公路隧道常见的洞门形式有哪些？它们的适用条件是什么？

答：公路隧道常见的洞门形式主要有端墙式、翼墙式、环框式

与遮光棚式，它们的具体情况及其适用条件如下：

(1)端墙式洞门：端墙式洞门适用于岩质稳定的 IV 类以上围岩和地形开阔的地区，是最常使用的洞门形式，见图 4-11；

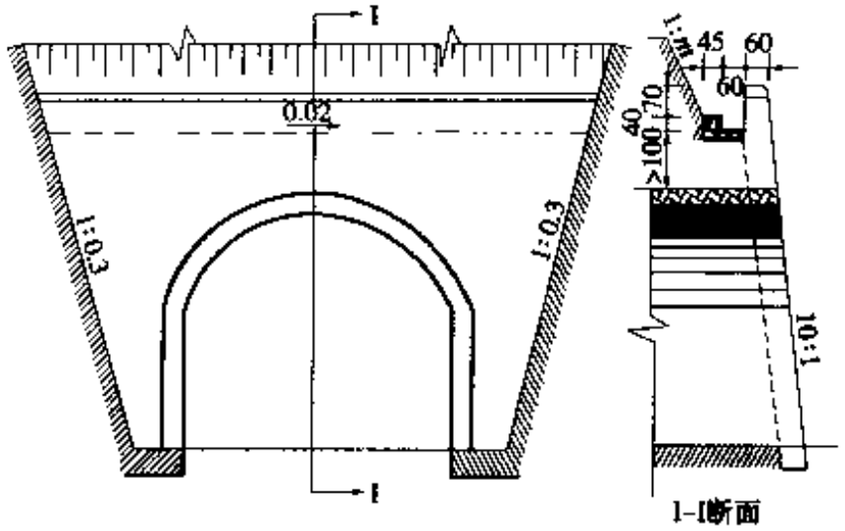


图 4-11　端墙式洞门

(2)翼墙式洞门

翼墙式洞门适用于地质较差的 III 类以下围岩，以及需要开挖路堑的地方。翼墙式洞门由端墙及翼墙组成。翼墙是为了增加端墙的稳定性而设置的，同时对路堑边坡也起支撑作用。其顶面通常与仰坡坡面一致，顶面上一般均设置水沟，将端墙背面排水沟汇集的地表水排至路堑边沟内，见图 4-12。

(3)环框式洞门：当洞口岩层坚硬、整体性好，节理不发育，且不易风化，路堑开挖后仰坡极为稳定，并且没有较大的排水要求时采用。环框与洞口衬砌用混凝土整体浇筑，见图 4-13。

当洞口为松软的堆积层时，通常应避免大刷仰、边坡，一般宜采用接长明洞，恢复原地形地貌的办法。此时，仍可采用洞口环框，但环框坡面较平缓，一般与自然地形坡度相一致。环框两翼与翼墙一样能起到保护路堑边坡的作用。环框四周恢复自然植被原状，或重新栽植根系发达的树木等，以使仰、边坡稳定。在引道两侧，如果具备条件可以栽植高大乔木，形成林荫大道，这样的总体绿化，对洞外减光十分有益，也是一个值得推荐的好方法。不过，环框上方及两侧仍应设置排水沟渠，以排除地表水，防止漫流。倾

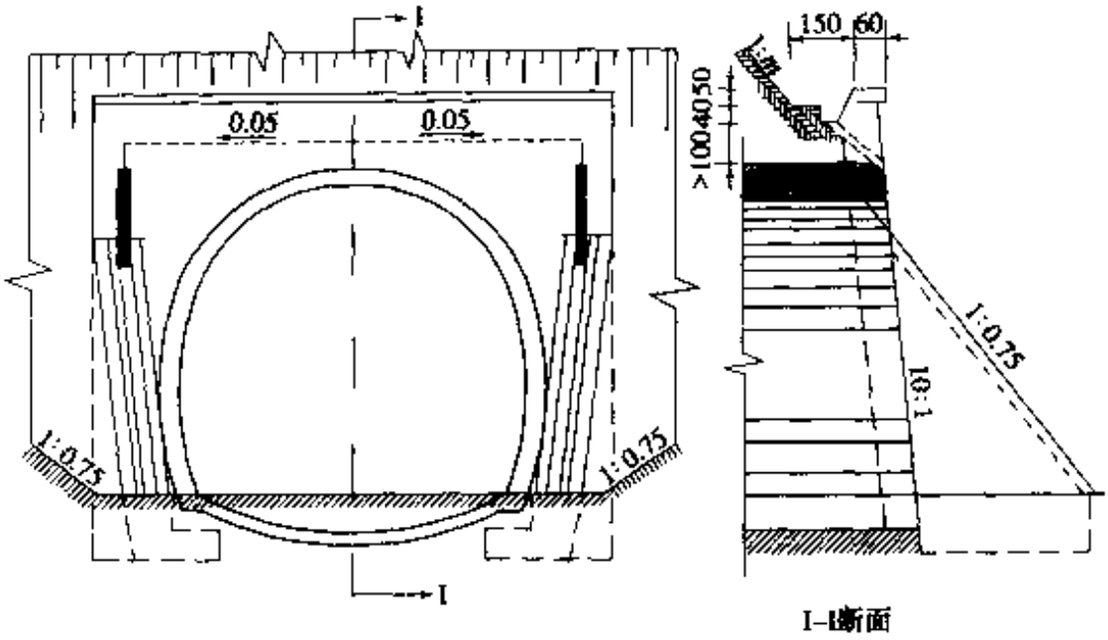


图 4-12　翼墙式洞门

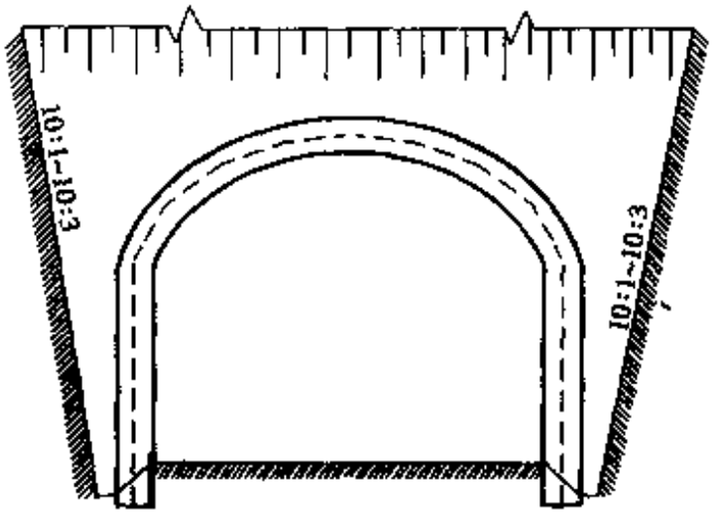


图 4-13　环框式洞门

斜的环框还有利于向洞内散射自然光,增加入口段的亮度。

(4)遮光棚式洞门

当洞外需要设置遮光棚时,其入口通常外伸很远。遮光构造物有开放式和封闭式之分,前者遮光板之间是透空的,后者则用透光材料将前者透空部分封闭。但由于透光材料上面容易沾染尘垢油污,养护困难,因此很少使用后者。形状上又有喇叭式与棚式之分。

除上述基本形式外，还有一些变化形式，如柱式洞门，在端墙上增加对称的两个立柱，不但雄伟壮观，而且对端墙局部加强，增加洞门的稳定性。此种形式一般适用于城镇、乡村、风景区附近的隧道。台阶式洞门，为适应山坡地形，在沿线傍山隧道半路堑情况下常采用这种形式，将端墙做成台阶式。

47.公路隧道洞口设施应具备什么基本要求？

答：公路隧道洞口设施应具备如下基本要求：

(1)洞口边坡、仰坡顶面及其周围，应根据情况设置排水沟及截水沟，并和路堑排水系统综合考虑布置；

(2)洞口边坡、仰坡应根据实际情况采取坡面防护措施，做到不留后患、保证安全、经济合理；

(3)当洞口处有落石与泥石流时，应采取清刷、延伸洞口设置明洞或支挡构造物等措施。

48.公路隧道洞门构造及基础设置存在什么要求？

答：公路隧道洞门构造及基础设置存在如下要求：

(1)洞口仰坡坡脚至洞门墙背后的水平距离不应小于1.5m，洞门端墙与仰坡之间水沟的沟底到衬砌拱顶外缘的高度不应小于1.0m，洞门墙顶应高出仰坡坡脚0.5m以上。水沟底下采用填土时，应夯实；

(2)洞门墙应根据实际需要设置伸缩缝、沉降缝和泄水孔；洞门墙厚度可按计算或结合其它工程类比确定；

(3)洞门墙基础必须埋置于稳固地基上，应视地形及地质条件，埋置足够的深度，保证洞门的稳定性。基底埋入土质地基的深度不应小于1.0m，嵌入岩石地基的深度不应小于0.5m；地基为冻胀土层时，基底标高应在冻结线以下不小于0.25m；墙基底埋设的深度应大于墙边各种沟、槽基底埋设的深度；

(4)松软地基上的基础，当地基强度不足时，可采取扩大、加固基础等措施。

第三节　明　　洞

49.明洞的基本含义是什么？如何考虑设置明洞？

答：当公路隧道埋深较浅，上覆岩(土)体较薄，难采用暗挖法施工时，则应采用明挖法修筑的隧道结构，常称为明洞，原则上在洞顶有回填土石遮盖，特殊情况下，没有回填土石，也可称之为明洞，如防雪棚、防雪明洞，遮阳棚洞等。设置明洞的各种情况如下：

(1)往往须经技术经济比较确定。包括大开挖修建路堑和小开挖修建明洞的技术经济比较；暗挖法修建隧道和明挖法修建明洞的技术经济比较；还由于施工单位的施工技术条件和材料、设备条件，迫使本来可以用暗挖法修建隧道而改为明洞修建的情况。所以，由于地质条件难于用暗挖法修建隧道和技术经济比较修建明洞合理是选择明洞方案的关键；

(2)路基或隧道口受不良地质等危害又不宜避开、清理的地段，包括受路线平纵横控制无法避开；清理会造成更大的病害的地段；也包括经技术经济比较后，不避开、不清理，而以明洞通过，技术经济效益为高的特殊情况。明洞作为整治滑坡病害和支撑山坡稳定的措施，是作为在现场条件适宜时的一种特殊情况，一般不宜这样做；或者附近还有其它重要建筑，可将整治滑坡和修建此类明洞一并考虑；

(3)立交明洞往往是公路隧道口或明洞口向前延伸的部分，应与立交桥或过水渡槽进行技术经济比较，以确切的数据说明修建立交明洞的合理性；

(4)为了保持洞的自然环境，明洞可伸出天然地面之外，也可不修洞门。

50.明洞存在哪些基本结构类型？如何选择明洞的结构类型？

答：明洞结构类型可分为拱形明洞、箱形明洞和棚洞三类。明

洞结构类型设计原则如下：

(1)现浇拱形明洞结构整体性较好，承载力较大，能适应较大的山体压力。预计一次圬方量较大，基础设置条件较好时，宜采用拱形明洞。当路线外侧地形狭窄或外侧基岩埋藏较深。设置稳固的基础工程大时，就不宜设置拱形明洞。在上述条件下，洞顶荷载较小，施工又方便，则宜采用棚洞；

(2)路线通过滑坡地段时，首先应研究绕避或采用路基整治方案。当采用明洞方案时，应与路基整治和滑坡整治方案作全面的技术经济比较。如将明洞修建在滑坡上，则明洞很难稳定。如必须修建时，则应将明洞基础修建在滑面以下较稳定的岩土上。明洞的设计应按支挡工程设计，充分考虑明洞上方滑坡体的推力，并要采取综合治理措施。常用的治理措施有，地表排水，减载反压，支撑墙，地下排水盲沟，支撑排水泄水洞，抗滑桩等。总之要确保明洞与滑坡的稳定；

(3)在既有公路上修建明洞宜采用棚洞和装配式上部结构，这样能快速施工，减少对行车的干扰；

(4)在平丘交通繁忙的公路上，汽车道、非机动车、人行道等都存在的情况下，如修建立交明洞，可采用箱形明洞，分洞多孔行驶。箱形结构建筑高度较小，对地基要求较低；

(5)为保护洞口自然环境而加长修建明洞，可采用拱形、箱形明洞，并可在洞顶以植保措施或建筑措施与环境配合。

51.明洞基础设置的基本要求是什么？

答：明洞基础设置存在如下基本要求：

(1)明洞墙基应有一定的嵌入深度并应设在冻结线以下25cm，且保证一定的护基宽度，如表4-1所示。

当两侧边墙地基软硬不均匀时，应采取措施加以处理，以免引起过大的沉降和不均匀沉陷，使明洞结构产生裂缝或破坏。可采取下述措施：

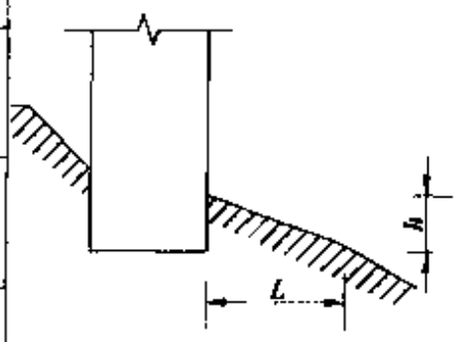
①基岩不深时可加深基础，设置于基岩上；

②采用钢筋混凝土或混凝土仰拱；

③采用钢筋混凝土底板，修筑整体式基础；

④亦可采用桩基或加固地层等措施。

明洞墙基嵌入深度　　表 4-1

岩层种类	埋深 h(m)	护基宽 L(m)	说　明
较完整的坚硬岩层	0.25	0.25～0.5	
一般岩层（如砂页岩互层）	0.60	0.6～1.50	
松软岩石（如千枚岩等）	1.00	1.0～2.0	
砂夹砾岩	1.50	1.5～2.5	

(2)当地基可切割成台阶时，台阶平均坡度不陡于 1:0.5；坡度线与水平线的夹角不得大于岩层的内摩擦角；台阶宽度不小于 0.50m，最低一层基础台阶宽度不小于 2m。为了使基础外侧护基部分岩土稳定或为防止河岸冲刷的影响，应另采取挡墙、护岸、边坡加固等防护、防冲刷措施。

(3)明洞外边墙、棚洞立柱基础埋置位置在路面 3m 以下时（一般是指半路堑单压式明洞的外侧边墙及立柱），应在路基处设置钢筋混凝土横向水平拉杆或锚杆，或给立柱加设横撑和纵撑，以减小墙底转角，改善结构受力条件，增加墙柱约束，减小其长细比的影响，以确保整个结构的整体性、外侧边墙及立柱的整体及局部稳定性。

52.明洞顶部设计填土厚度如何确定？

答：明洞顶部设计填土厚度应根据山坡病害的情况，预计明洞顶部可能出现的坍塌量及将来明洞所要起的作用来确定。

在 1975 年以前，铁路隧道规范曾规定为 3.0m，经过大量的实际调查，新规范确定为 1.50m。公路隧道跨度一般比铁路单线隧道跨度大，公路系统设计施工经验少，养护力量弱，故规定不小于

2.0m。明洞顶填土横坡以能顺畅排除坡面水为原则，不小于2%。但山坡崩落的石块，边坡冲刷的泥石，坡面坍塌多堆积于坡脚附近，因此设计填土坡应比实际填土坡适当加大，作为安全的储备。一般只考虑边坡的少量坍塌，故明洞顶设计填土坡度可为1:5～1:3。1:5是对称式明洞边坡基本稳定的情况，实际填土坡可为1:10～1:5。

当边坡有病害，未来可能发生较大的坍塌，而该明洞又处于地震烈度8度以上地区，地震时增加了坍塌的数量，应酌情增加填土厚度，如洞顶设计填土厚度可采用2.50～3.0m，设计填土坡度可为1:3～1:2，实际填土坡可为1:3～1:5。

当洞顶填土目的主要是为了支挡边坡的滑坍和为了防护山坡可能发生的大量坍方、泥石流时，则应将边坡的稳定情况、边坡的刷坡情况结合设计回填坡度，综合分析确定回填厚度，确保边坡和明洞的稳定与安全。一般设计回填坡度为1:3～1:2，实际填土坡度为1:3～1:5。

当明洞是为保护洞口自然环境，则应将明洞完全伸出自然山坡坡面，以不破坏自然地面及其景观为原则。开挖部分回填至原自然地面坡度，必要时可在其上采取植保。

53.明洞拱背和墙背的回填应符合什么要求？

答：明洞应重视拱背和墙背的回填，其中重视拱背的回填是为了保护拱背及拱脚，增强拱脚的固结，增加其稳定性，起加强的作用。墙背回填质量的好坏，直接影响到墙背岩土的稳定、侧压力的大小，也影响到墙背抗力的大小。实际采用回填措施时，应根据明洞类型、山坡岩土类别、设计要求、施工方法确定。一般Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类围岩其回填要求用片石混凝土或浆砌片石回填密实，并与围岩面的接合良好。对Ⅱ类及Ⅰ类围岩，墙背回填料的内摩擦角也应高于围岩的内摩擦角，如浆砌片石、干砌片石回填。

计算明洞墙背围岩主动土压力时，是按围岩计算摩擦角计算的，所以墙背回填料的内摩擦角应不低于围岩的计算摩擦角，不然

的话，实际墙背的侧压力较计算的要大。另一意义是较好的围岩与衬砌之间有低摩擦角的回填“软弱夹层”，徒然增加土压力和减小弹性抗力，技术、经济效益方面都是不适宜的。因此，也就要提高回填的质量。

墙背回填料的内摩擦角，应不低于设计回填料计算的摩擦角，表示设计、施工措施应符合（或高于）设计要求，使之可靠。否则，墙背侧压力将比设计侧压力增大，影响结构安全。

明洞拱背和墙背的回填，应符合以下要求：

（1）拱脚用贫混凝土或浆砌片石回填；

（2）边墙背后超挖部分，宜用片石混凝土或水泥砂浆砌片石密实回填；

（3）墙背后回填料的内摩擦角不应低于围岩的计算摩擦角或设计回填料计算摩擦角。

第四节　内装、顶棚及路面

54.公路隧道内装及内装材料的基本要求是什么？

答：为了确保行车安全，在公路隧道中必须采取措施，使墙面在长期的运营中保持必要的亮度，墙面须用适当的材料加以内装处理。以改善公路隧道内的环境，提高能见度和吸收噪声。

提高墙面的反射率，可以增加照明效果。因此，内装材料表面应当是光洁的，颜色应当是明亮的。人眼对波长 555nm 的黄绿光最为敏感，所以，内装材料应尽量采用淡黄和浅绿色作为背景的墙面，要能衬托出障碍物的轮廓，具有良好的反射率，减少眩光，并使这种反射呈漫反射。

未经过内装的混凝土衬砌表面，特别容易吸附汽车引擎排出的废气中的粘稠油分，并与烟雾、尘埃一起沾在表面上。在隧道内潮湿、漏水的情况下，这种污染的过程出人意料的快，能使墙面的反光率降到极低的水平。

经过内装的墙面，污染仍然是不可避免的。但要求装修材料具有不易污染、易清洗、耐刷、耐酸碱、耐腐蚀、耐高温以及便于更换或修复等特点，表面应该光滑、平整和明亮。

装饰材料还应具有吸收噪声的作用。消除隧道内的噪声是极其困难的课题之一。公路隧道内噪声主要来自两方面：通风机产生的噪声和汽车行驶时引擎发出的噪声。

内装的作用，包括美化洞室，使隧道漏水不露出墙面，隐藏各种管线，提高照明和通风效果，吸收噪音等。

声波是在三维空间中波动，它与光波一样可以屏蔽、聚焦和定向。在均匀截面的管道中行进的波，常常是平面波，这种波从波源出发，在无阻碍地进行很长一段距离后，仍近似地为平面波，平面波的衰减很慢；由于管径与铺贴吸声材料的吸声效果成倒数关系，在大管道中铺贴吸声材料几乎无效，因此，内装材料的消声效果一般不理想。

通常用于公路隧道的张贴内装材料有：

(1)块状混凝土材料：其表面粗糙，容易污染面且不好清洗，但衬砌表面不需特殊处理即可设置，比较经济；

(2)饰面板、镶板等质地致密材料：不容易污染，清洗效果好，洗净率高。板背后的渗漏水很隐蔽，即使外露也容易洗净。各种管线容易在板背后隐蔽设置，板背后的空间有利于吸收噪声；

(3)瓷砖饰面材料：表面光滑，容易洗净且效果良好；要求衬砌平整，以便镶砌整齐；公路隧道漏水部位可以考虑用排水管道疏导；镶面后面可以埋设小管线；但这种材料没有任何吸声作用；

(4)油漆材料：比块状混凝土材料容易清洗，但不及其它两种材料，对衬砌表面要求很高，需要压光、平整；公路隧道不能有漏水现象，浸湿的油漆损坏很快，这种材料也没有吸声作用。

随着建筑材料工业技术的发展，新材料相继出现，许多新型材料都可以使用。但用于内装的新材料应该具有耐火性、在高温条件下仍能维持原状、不燃烧、不分解有害成分等；耐蚀性，长期在油垢及有害气体作用下不变质，在洗涤剂等化学物质作用下不被侵

蚀；不怕水，大多数隧道都存在漏水问题，在水的浸泡下，在潮湿环境中不变质、不霉烂；材料来源广泛，价格相对便宜，隧道是大型构造物，用材量很大，价格高昂的材料不适于作公路隧道内装。

55. 公路隧道顶棚设计应该注意哪些基本问题？

答：顶棚的反射率对提高照明效果有利，经过顶棚的反射光使路面产生二次反射，能明显的增加路面亮度。顶棚用漫反射材料可以避免产生眩光，其颜色的明亮程度直接影响到路面亮度，因此，应该是浅色的，但是又应有别于墙面，在色调和饱和度上可以有所不同。

顶棚是背景的一部分，特别是在有坡度处和变坡点附近对识别障碍物和察觉公路隧道内异常现象颇有帮助。

美国在改造早期修建的旧隧道时，为了提高隧道内的亮度水平，曾在顶棚上用瓷砖镶面。其结果是一方面产生了严重的闪烁现象，另一方面顶棚很快变脏，清洗工作又很不方便。由于脏的过程很快，所以，不能获得稳定的反射亮度，这是需要今后进一步探索的问题。

顶棚可以美化隧道，特别是与整齐排列的灯具相互衬托，更可以起到美化的效果，并有明显的诱导作用。

根据实际需要可以把顶棚做成平顶或者拱顶。在自然通风或诱导通风时，可以用拱顶。在半横向或横向通风时可以用平顶。顶棚以上可以作为通风道和供管理人员使用的通道，因此设计荷载可按(据国外资料)10MPa 考虑。

56. 公路隧道路面设计应该注意哪些基本问题？

答：公路隧道路面设计应该注意如下基本问题：

(1)路面材料应具有抵御水的冲蚀和含有化学物质的水的侵蚀能力。尤其地下水可能为承压水时，更为突出。路面的坡度应能迅速排除清洗用水；

(2)因为车辆在公路隧道内的减速及制动次数较高，横向抗滑

要求更高，以确保车体横向稳定；

(3)容易修补；

(4)路面漫反射率高，颜色明亮，才能获得良好的照明效果。路面作为发现障碍物的背景，比墙面和顶棚有更大的、关键性的作用；

(5)路面材料主要有两种，即混凝土和沥青混凝土。由于混凝土的反射率较沥青混凝土路面高，横向抗滑性好，是过去广泛使用的材料。其最大缺点是产生裂缝时不容易修补，更换时要停止交通。在高寒地区还要受到防滑链的损害，必需考虑设置磨耗层。沥青路面的反射率较低，为了改善路面亮度，需要在面层加入石英和铝的混合物。有的加入浅色石子和氧化钛做填充料；

(6)路面与车道分隔线等交通标志之间应保证有明显的亮度对比和鲜明的颜色对比；

(7)公路隧道内的路基应具有足够的承载力，尤其要求在有丰富地下水的条件下也能满足要求，这就要求有良好的排水设施。衬砌背后应设置盲沟和导水管，在车道板下面铺设透水性好的路基材料，必要时设置仰拱。在确定公路隧道纵坡时保证排水沟排水顺畅，保证路面有1%～1.5%的横坡等。

57.公路隧道行车道两侧设置路缘带与余宽的目的与要求是什么?

答:为了消除或减少公路隧道边墙给驾驶员带来唯恐与之冲撞的心理影响("墙效应")，保证一定车速的安全通行，应于行车道两侧设置一定宽度的路缘带、余宽或人行道，以满足侧向净空的需要。

(1)设置路缘带的目的：

①诱导驾驶员视线，增加行车安全；

②为行车道提供一部分必须的侧向净空，保证行车道的充分使用。

(2)设置余宽的目的：

①作为防止汽车行驶出行车道外的防冲撞设施；

②养路工维修时的通道。

公路隧道行车道两侧路缘带与余宽的设置应该综合考虑，须满足表 3-6 的基本要求。

58.公路隧道内设置紧急停车带(加宽带)和错车道的目的和基本要求是什么?

答:对在高速公路、一级公路上的特长、长隧道及交通量大的城郊隧道，应根据需要设置紧急停车带，这是考虑到车辆若在公路隧道内发生事故时，有一个应急的抢险、疏导车流的余地，便于较快地消解阻塞、减少损失。

紧急停车带(加宽带)的设置，可参照国际道路常设委员会(PIARC)隧道委员会推荐值办理：超过 2km 以上的公路隧道须考虑设置宽 2.5m 与长 25～40m 的紧急停车带，间隔为 750m。10km 以上的特长隧道宜考虑回车道设施。

单车道隧道，为保证安全运输，洞内应设错车道，间距不大于 200m，错车道的设置按《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)有关规定处理。

紧急停车带是为故障车辆离开干道进行避让，以免发生交通事故，引起混乱，影响通行，引起阻塞，甚至导致交通事故。为使车辆能在发生火灾时避难和退避还应设置方向转换场。

紧急停车带的间隔，主要根据故障车的可能滑行距离和人力可能推动距离确定。一般很难断言其距离的大小，如小轿车较卡车滑行距离长，人力推动也较省力，下坡较上坡时滑行距离长，推动时也省力。在隧道内一般可取 500～800m。汽车专用道可取 500m，隧道长度大于 600m 时即应在中间设置一处。混合交通隧道可取 800m，隧道长度大于 900m 时即应在中间设置一处。

紧急停车带的有效长度，应满足停放车辆进入所需长度，一般考虑全挂车可以进入需 20m，最低值为 15m。宽度一般为 3.0m。隧道内的缓和路段施工复杂，所以通常是将停车带两端延长 5m

左右即可。参见图 4-14。

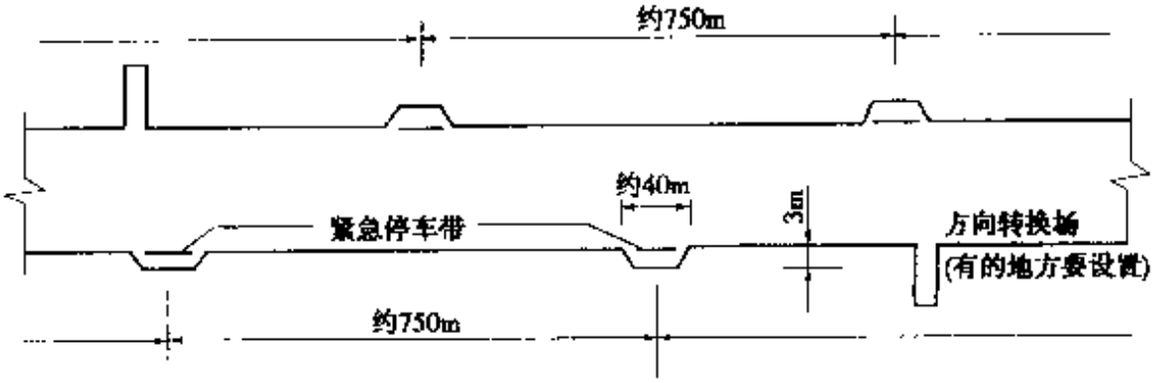


图 4-14　紧急停车带及方向转换场的设置实例

59.公路隧道人行道如何设置?

答:有行人通行的公路隧道原则上应设置人行道,人行道的宽度一般不宜小于 0.75m,以便肩挑背负者使用。在有自行车通行的公路隧道,人行道宽度不宜小于 1m,以供自行车下车推行。必要时可设置栏杆,以消除隧道内混合交通的干扰和隐患。城市附近及人行众多的公路隧道,人行道的宽度应根据需要适当加宽,以保证非机动车及行人不侵占行车道。不设置人行道时,应视隧道长短设置避车洞。

60.公路隧道内行车道路面采用什么路面结构? 路面设计的基本原则与依据是什么?

答:(1)公路隧道内行车道路面宜采用水泥混凝土路面。当洞内干燥无水、施工方便时,也可采用沥青混凝土路面。采用水泥混凝土路面时,墙部应设置变形缝,路面等处也应相应设置变形缝。公路隧道与其它隧道一样,隧道路面无日照,一般夏季隧道内比洞外气温低,"凉快";冬季气温较洞外略高,"暖和",尤其是北方。实际是全年保持在一个较低的温度状态。这样,隧道内采用贯入式、路拌法、层铺法等沥青路面,一般就不易成型良好;隧道内比较潮湿,也直接影响沥青路面的使用和耐久。沥青路面颜色黑,反射率低,直接影响路面亮度。沥青路面的优点是易于修补,噪音小。所

以，一般情况下，都建议采用水泥混凝土路面。

洞内行车道水泥混凝土路面最小厚度采用 18cm，是在下述条件下采用。

①良好的的岩石基础，如 IV 类及以上围岩；

②清除浮渣；

③水泥稳定石渣整平层。

有关规定说明如下：

①如路基软弱、松软或为土质，则应设置水泥稳定石渣、水泥、石灰稳定砂砾土类基层。它的厚度应根据刚性路面设计要求计算和工程类比确定；

②路面上设置变形通缝是了防止在人行道、路面处出现不规则的没有预先采取防水措施的裂缝；

③洞内水泥混凝土路面应设伸缩缝，其设置办法与洞外水泥混凝土路面相同。洞口直接受洞外气温的影响，故应设置胀缝。

(2)行车道路面设计应符合交通部颁发的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40 - 2002)和《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014 - 97)的有关规定。

第五章　公路隧道建筑材料

61.公路隧道建筑材料选用的基本要求是什么?

答:公路隧道建筑材料的选用应符合下列基本要求:

(1)选用的建筑材料应符合结构强度和耐久性的要求,并应考虑其抗冻、抗渗和抗侵蚀性的需要。这是在任何情况下,供公路隧道使用的建筑材料必须具备的基本条件。当公路隧道修建于特殊地区时,如严寒、有侵蚀性水等,其所选用的衬砌材料尚应具有适应这些特定条件要求的性能;

(2)如有侵蚀性水经常作用时,结构物的混凝土或砂浆均应采用具有抗侵蚀性能的特种水泥,其抗侵蚀性能的要求,应视水的侵蚀特征而定。山岭隧道修建在有侵蚀性水的围岩中,若被忽视或者处理不够完善时,衬砌混凝土有可能会被腐蚀成豆腐渣状,严重影响衬砌的强度和安全,需作事后补救。总结这方面的经验和教训,隧道初砌的混凝土或砂浆应采取抗侵蚀措施。水中含有侵蚀物质种类较多,对水泥混凝土侵蚀的性质也各不相同。水对混凝土的侵蚀作用是一项复杂的物理化学反应过程,环境水的侵蚀特征是决定抗侵蚀措施的关键。

(3)在寒冷及严寒地区隧道受冻害影响的地段,宜采用整体式混凝土衬砌,且混凝土标号应适当提高,并满足材料抗冻性指标(50)的要求。

62.公路隧道工程各建筑部分建筑材料选用情况如何?

答:公路隧道工程各建筑部分材料的选取需要综合考虑各部分的稳定性、外观与施工工艺等要求,并参照《混凝土结构设计规

范》(GB 50010—2002)、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)与《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001)进行确定，具体情况见表 5-1 与表 5-2。

洞门建筑材料　　表 5-1

材料种类 / 工程部位	混凝土或钢筋混凝土构件混凝土	片石混凝土	砌　体
端墙	C15	C15	10 号水泥砂浆砌片石、块石镶面或混凝土预制块镶面
顶帽	C15		10 号水泥砂浆粗料石
翼墙和洞口挡土墙	C15	C15	7.5 号水泥砂浆砌片石(严寒地区用 10 号水泥砂浆砌片石)
侧沟、截水沟、护坡等			5 号水泥砂浆砌片石(严寒地区用 7.5 号水泥砂浆砌片石)

注：①砌体包括石砌体和混凝土砌体；

②严寒地区洞门用混凝土整体灌筑时，其标号不应低于 20 号；

③片石砌体的胶结材料采用小石子混凝土砌筑时，其最低标号及相应的适用范围与水泥砂浆相同。

衬砌建筑材料　　表 5-2

材料种类 / 工程部位	混凝土	片石混凝土	钢筋混凝土构件混凝土	喷射混凝土	砌　体
拱圈	C15		C20	C20	10 号水泥砂浆砌粗石或混凝土块
边墙	C15	C15	C20	C20	10 号水泥砂浆砌片石
仰拱	C15	C15	C20		
捌洞盖板			C20		
仰拱填充	C10	C10			10 号水泥砂浆砌片石
水沟沟身及电缆槽身	C15				
水沟盖板及电缆槽盖板			C15		

63.公路隧道砌体和混凝土所用工程材料的基本要求是什么?

答:砌体和混凝土(包括钢筋混凝土、片石混凝土)所用的工程材料,除应符合国家规定的标准和要求外,尚应符合下列规定:

(1)用于砌体的石料应符合衬砌材料的基本要求。片石、块石标号不应低于30号,粗料石不应低于40号,混凝土块标号不应低于15号。不得采用有裂缝和易风化的石料;

(2)混凝土用的粗骨料,应使用砾石或碎石,亦可在砾石内掺入部分碎石;

(3)片石混凝土内片石掺用量不应超过总体积的20%,片石标号不应低于30号。

64.公路隧道锚喷支护所采用的建筑材料存在什么基本要求?

答:公路隧道锚喷支护所采用的建筑材料需满足如下基本要求:

(1)喷射混凝土优先选用普通硅酸盐水泥,是因为它含有较多的 C_3A 和 C_3S,凝结时间较快,特别是与速凝剂有良好的相容性。细骨料采用中粗砂及细度模数大于2.5的规定,不仅是为了有足够的水泥包裹细集料,有利于获得足够的混凝土强度,同时可减少粉尘和硬化后混凝土的收缩。砂的含水率控制在5~7%,主要是为了减少具有活性的水泥颗粒的损失,减少粉尘,也有利于水泥的充分水化。关于粗骨料粒径,目前国内的喷射机可使用最大粒径为25mm,但为了减少回弹和管路堵塞,故规定不大于15mm;

(2)锚杆的杆体材料,按国标《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)主要为Q235级钢筋、20MnSi钢筋。杆体直径一般为16~22mm,除考虑强度要求外,由于钻孔孔眼一般为42~44mm,可便于注入必要的砂浆;

(3)早强水泥砂浆,如采用硫酸盐水泥作胶结料,并在砂浆中

掺入一定比例的早强剂，砂浆灌注后 2～8h 内，锚杆抗拔力可大于 50kN；

(4)钢筋网的钢筋不宜太粗，否则易使喷层产生裂纹，故采用钢筋直径不大于 10mm。

锚喷支护采用的建筑材料除应符合问题 61 至问题 63 中有关规定外，尚应符合下列要求：

(1)喷混凝土的水泥标号不得低于 325 号，并优先选用普通硅酸盐水泥；细骨料采用中砂或粗砂，细度模数宜大于 2.5，含水率宜控制在 5～7%；粗骨料采用砾石或碎石，粒径不应大于 15mm；

(2)锚杆的杆件材料宜采用 II 级钢筋，也可采用 I 级钢筋或 5 号钢筋，其直径一般为 16～22mm；

(3)采用灌浆锚杆时，其胶结材料可采用普通水泥砂浆或早强水泥砂浆，砂浆标号不得低于 20 号；

(4)钢筋网可采用 I 级钢筋，直径一般为 4～10mm。

65.公路隧道内路面材料存在什么基本要求？

答：公路隧道内路面应符合交通部颁发的《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)、《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)的有关规定。

隧道内路面材料主要根据路面等级及面层类型决定。具体采用时可参照有关规范办理，特别是有关材料性能指标，如沥青可参见《沥青路面施工及验收规范》(GB 50092—96)第 4 章材料；石料见《公路工程石料试验规程》(JTJ 054—94)；水泥混凝土路面可参见《水泥混凝土路面施工及验收规范》(GBJ 97—87)。

总的来说，洞内路面结构要求坚固、耐久、反光好。由于山岭公路隧道路基一般多为岩石基础，其地基综合变形模量较高，因此隧道洞内修筑水泥混凝土路面较多。混凝土路面具有耐用、强度高的特点，厚度则比一般路面可稍薄一些，约 16～22cm；缺点是：易打滑、接缝多，维修麻烦。

66.公路隧道所用建筑材料的基本物理力学性质指标的选用情况如何?

答:公路隧道所用建筑材料的基本物理力学性质指标按下述方法选用:

(1)公路隧道常用建筑材料的容重可参照表 5-3 选用;

建筑材料容重(kN/m^3) 表 5-3

材料名称	混凝土	片石混凝土	钢筋混凝土	浆砌粗料石	浆砌块石	浆砌片石	喷射混凝土
容重	23	23	25	25	23	22	22

(2)混凝土和钢筋混凝土构件的混凝土标号参照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)及《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001)确定,见表 5-4;

混凝土强度标准值(MPa) 表 5-4

强度种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	45.7	50.2
f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11

注:f_{ck}、f_{tk}分别为混凝土轴心抗压和轴心抗拉强度。

(3)混凝土的受压弹性模量参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)及《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001)确定,见表 5-5;

混凝土弹性模量($\times 10^4$MPa) 表 5-5

混凝土强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
E_c	2.20	2.55	2.80	3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80

(4)砌体的极限抗压强度参照表 5-6 与表 5-7 选用;

砌体的抗压极限强度 R_a(MPa) 表 5-6

水泥砂浆或小石子混凝土标号	片石砌体	小石子混凝土砌片石砌体	块石砌体	粗料石砌体	混凝土块砌体
7.5	3.0	3.8			
10	3.4	4.2	5.3	8.0	5.5
15	4.0	4.8	6.0	8.7	6.0

注:①砌体龄期为 28d;

②块石、粗料石或混凝土预制块厚度为 30~40cm 者,极限抗压强度按表列数值乘以 1.25,超过 40cm 者乘以 1.45。

砌体极限强度(MPa) 表 5-7

强度种类	截面	砌体种类	砂浆标号		
			15	10	7.5
直接抗剪 R_j	通缝	各种砌体	0.40	0.33	0.27
		小石子混凝土砌片石砌体	0.36	0.30	0.25
	齿缝	片石砌体	0.80	0.66	0.54
		小石子混凝土砌片石砌体	0.60	0.48	0.45
		规则块材砌体	注(3)		
弯曲抗拉 R_w	通缝	各种砌体	0.60	0.48	0.42
		小石子混凝土砌片石砌体	0.60	0.48	0.42
	齿缝	片石砌体	0.66	0.60	0.54
		规则块材砌体	0.95	0.84	0.75
		小石子混凝土砌片石砌体	0.72	0.72	0.54

注:①砌体龄期为 28d;

②规则块材砌体包括:块石砌体、粗料石砌体、混凝土块砌体;

③规则块材在齿缝方向受剪时,系通过块材和灰缝剪破,此时不计灰缝抗剪作用,当块材抗剪时,不计入灰缝面积,块材直接抗剪极限强度按表 5-8 采用。

规则块材直接抗剪极限强度(MPa) 表 5-8

块材标号	≥20	15	10	7.5
直接抗剪 R_j	2.64	2.16	1.68	1.44

(5)对于砌体的受压弹性模量,各种砌体取 $800R_a$(MPa),小石

子混凝土砌片石砌体取 $500R_a$(MPa)；

(6)钢筋混凝土结构及锚杆支护所用钢筋的性能指标应符合国家标准规定，其强度及弹性模量等按表 5-9 采用；

钢筋的强度及弹性模量 表 5-9

钢筋种类	屈服强度 (MPa)	抗拉极限强度 (MPa)	抗拉或抗压计算强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	延伸率 (%)
Q235 级钢筋	240	380	260	210	25
20MnSi 钢筋	340	520	360	360	16

(7)喷射混凝土的标号为 20 号，其极限强度为：轴心抗压为 14MPa，弯曲抗压为 17.5MPa，抗拉为 1.2MPa；弹性模量为 2.1×10^5MPa；

(8)喷射混凝土与岩石的粘结力，Ⅳ类及以上围岩不低于 0.8MPa，Ⅲ类围岩不低于 0.5MPa。

第六章　公路隧道结构计算

第一节　围岩压力计算

67.如何确定深埋公路隧道围岩压力?

答:由长期的坑道开挖实践及实地围岩压力测量可以看出,围岩压力是受许多因素影响的,但主要取决于岩体构造和结构的组合等地质因素,并且压力分布很不均匀(指径向压力而言)。在某些围岩中,可见到呈拱形的暂时稳定平衡,即所谓平衡拱。除粘性土及某些塑性岩石外,荷载的时间效应不显著,压力增长很快,在较短时间内就趋于稳定。基于这些情况,并对我国411座铁路隧道施工坍方资料进行统计分析,提出了用下式确定隧道支护结构上的垂直均布荷载:

$$q = 0.45 \times 2^{6-s} \cdot \rho \cdot \omega \tag{6-1}$$

式中:q——垂直均布压力(Pa);

s——坑道围岩类别;

ρ——围岩的天然密度;

ω——跨度影响系数,其值为:

$$\omega = 1 + i(B_t - 5) \tag{6-2}$$

式中:B_t——坑道宽度(m);

i——以 $B_t = 5.0$m 的垂直均布压力为准,增减 1m 时的荷载增减率。

当 $B_t < 5.0$m 时,$i = 0.2$;$B_t = 5 \sim 15$m 时,$i = 0.1$;$B_t > 15m$ 时,i 可参照0.1采用。

因为式(6-1)是根据单线铁路隧道施工塌方资料统计归纳的，所以，在应用时要注意下述适用条件：

(1)$H_t/B_t<1.7$，其中 H_t 为公路隧道开挖高度，B_t 为隧道开挖宽度。在高边墙的地下隧道中，由于控制坑道稳定的是坑道侧壁，故不宜采用。当边墙较高，无不良地质构造时，可参用上式，否则要加大荷载值，或用其它适合高边墙地下隧道的荷载计算公式；

(2)不产生显著偏压及膨胀力的一般围岩，因为在这些围岩中的荷载分布、数值、时间效应等有显著差异，故不宜采用上式；

(3)适用于矿山法施工条件，当采用其它施工方法，如掘进机、盾构、固结法等，荷载可适当减少；

(4)对喷射混凝土、锚杆支护，因荷载性质有很大不同，亦不宜采用；

(5)适用于深埋隧道。各类围岩的天然密度参见表 6-1；围岩压力的水平分力可按表 6-2 计算。

各类围岩的天然密度　　表 6-1

围岩类别	VI	V	IV	III	II	I
$\rho(t/m^3)$	2.6~2.8	2.5~2.7	2.3~2.5	1.9~2.2	1.7~2.0	1.5~1.6

注：①III 类中的老黄土用 1.7~1.8t/m^3；

②II 类中的新黄土用 1.5 t/m^3；

③天然容重是指围岩天然湿度下的单位重量。

围岩压力的均布水平分力 e　　表 6-2

围岩类别	VI~V	IV	III	II	I
e	0	$\left(0\sim\frac{1}{6}\right)q$	$\left(\frac{1}{6}\sim\frac{1}{3}\right)q$	$\left(\frac{1}{3}\sim\frac{1}{2}\right)q$	$\left(\frac{1}{2}\sim1\right)q$

公路隧道围岩压力的水平分力计算式适用条件与垂直压力计算式相同。水平压力为对称的和均布的，但在确定压力值时需考虑下述几点：

(1)VI、V 类围岩，因坑道稳定侧压力较少出现，即使有也是由局部岩块松动引起的，对结构设计不产生影响。但在 VI、V 类围

岩中，结构与围岩的相互作用较为显著；

(2)Ⅳ、Ⅲ类围岩主要产生垂直荷载，因坑道侧壁比较稳定，故侧压力值也不会太大。但因这两类围岩的不均匀性和不连续性较突出，故可能出现局部的较大侧压力；

(3)Ⅱ、Ⅰ类围岩的侧压力比较大，对结构设计影响较大，在取值时应慎重。

事实上围岩压力的分布是很不均匀的，上述计算式没有反映支护结构特性的影响，显然不够完善，而且围岩压力还受施工条件等许多因素的影响。因此，仅用上述均布荷载来进行结构设计还不全面，还必须考虑荷载的不均布情况。即设计的支护结构应能满足多种荷载图形的要求。根据围岩压力的实地测量及对塌方资料分析，各类荷载图形(垂直的)如图 6-1 所示。这些荷载图形的选择，应根据围岩类别、施工条件及结构的要求而定，在通常情况下，以垂直均布图形为主要荷载图形进行结构设计，用偏压或不均布图形校核。

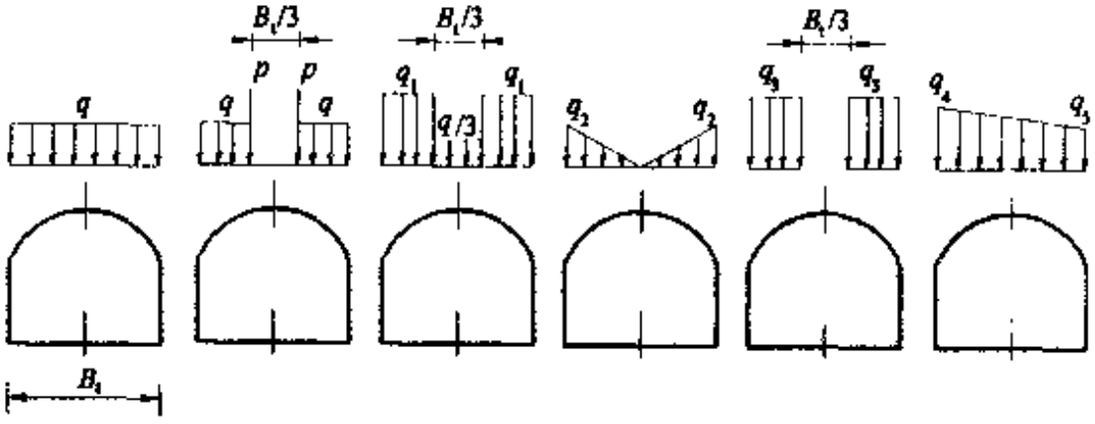


图 6-1　各类垂直荷载图形

主动侧压仍可按均布考虑。图中 q_1、q_2、q_3 等荷载值，可根据非均布压力的总和与均布压力总和相等的原则确定。

如前所述，支护结构对围岩压力的影响是用支护结构与围岩相互作用的围岩抗力来表达的，实质上，松弛荷载加上围岩抗力是对支护结构与坑道围岩相互作用力学模型的一个简化假定。因此，在以松弛荷载作为设计荷载时，必须同时考虑围岩抗力作用。

68. 如何确定浅埋公路隧道围岩压力?

答:对公路隧道来说,浅埋隧道多出现在洞口段。深埋和浅埋公路隧道的分界,有不少判定标准,一般是以坑道上方能否形成稳定的深埋隧道压力值来区分的,并且结合具体的地质、施工条件等因素综合确定。

要形成稳定的深埋围岩压力值,显然松动范围之外需要有足够厚度的岩(土)体,否则松动范围会一直扩展到地表。也就是说,深、浅埋隧道的分界深度要比荷载等效高度大,所谓荷载等效高度(h_q)即:

$$h_q = q/\gamma \tag{6-3}$$

式中:q——垂直均布围岩压力(Pa);

γ——围岩天然重度。

深、浅埋隧道分界深度 H_p 可用下述经验公式计算:

$$H_p = (2 \sim 2.5)h_q \tag{6-4}$$

在矿山法施工条件下,Ⅰ~Ⅲ类围岩取 2.5,Ⅳ~Ⅵ类围岩取 2;对某些特殊围岩,如黄土,由实践指出用上式确定的深度偏小,应适当加大。浅埋隧道围岩压力分下述两种情况分别计算。

(1)埋深(H)小于或等于等效荷载高度(h_q)时:

在这种情况下,坑道上覆岩(土)体较薄,从安全考虑,略去坑道上方土体下滑时周围土体对滑动土体所产生的阻力,亦即将上覆土柱全部重量作为围岩压力,视为均布时,垂直压力 q 为:

$$q = \gamma H \tag{6-5}$$

式中:q——均布垂直压力;

γ——隧道上覆围岩天然重度;

H——隧道埋深、指坑顶至地面的距离。

侧向压力 e,按均布考虑时,其值为:

$$e = \gamma\left(H + \frac{1}{2}H_1\right)\mathrm{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi_R}{2}\right) \tag{6-6}$$

式中：H_t——坑道高度；

φ_g——围岩计算摩擦角，其值见表 6-3。

各类围岩计算摩擦角(φ_g) 表 6-3

围岩类别	VI	V	IV	III	II	I
φ_g	> 78°	67° ~ 78°	55° ~ 66°	43° ~ 54°	31° ~ 42°	≤30°

(2)埋深大于 h_q，小于 H_p 时：

隧道上覆土体下滑时要考虑滑面阻力的影响，否则将算出过大的压力值。如图 6-2 所示，由于坑道开挖的影响而引起上覆岩(土)体下沉。即图中 *EFHG* 下沉。而它的下沉必受到左右岩(土)体的挟持，或者说两侧的围岩要被它带动下沉。这个挟持作用在计算围岩压力时需予以考虑，为便于分析，根据实测和试验作如下假定：

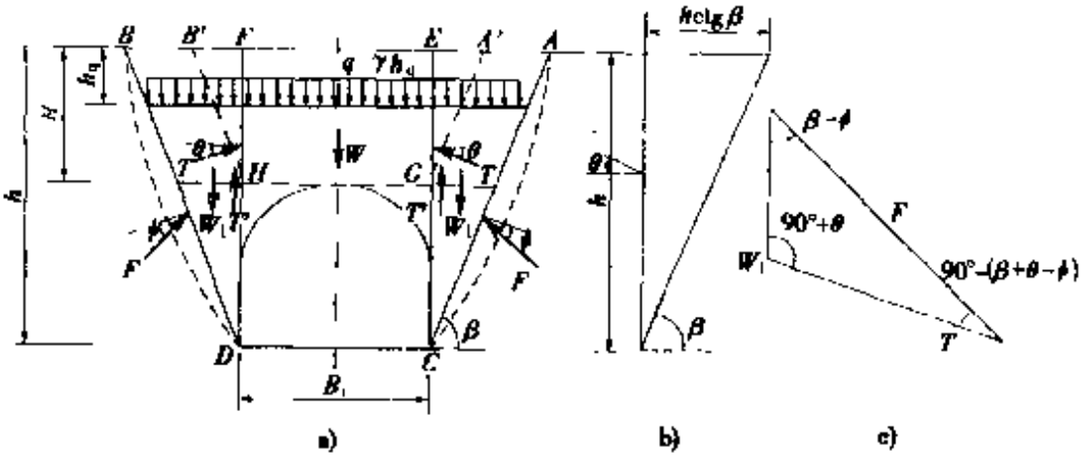


图 6-2 土体下滑计算图

①假定土体中形成的破裂面是一条与水平成 β 角的斜直线如图 6-2 所示；

②*EFHG* 岩(土)体下沉，带动两侧三棱体(如图中 *FDB* 及 *ECA*)下沉，整个土体 *ABDC* 下沉时，又要受到未扰动岩(土)体的阻力；

③斜直线 *AC* 或 *BD* 是假定的破裂面，分析时考虑内聚力 c 并采用了计算摩擦角 φ_g。另一滑面 *FH* 或 *EG* 则并非破裂面，因此，滑面阻力要小于破裂滑面的阻力，若该滑面的摩擦角为 θ，则 θ 值应小于 ϕ 值，无实测资料时，一般可参考表 6-4 采用。

各类围岩的 θ 值　　表 6-4

围岩类别	≥Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ
θ 值	0.9ϕ	$(0.7\sim0.9)\phi$	$(0.5\sim0.7)\phi$

设坑道上覆岩体 *EFHG* 的重量为 W；两侧三棱岩体 *FDB* 或 *ECA* 的重量为 W_1；未扰动岩体对整个滑动土体的阻力为 F；*EFHG* 下沉，两侧受到的阻力为 T 或 T'。作用于 *HG* 面上的垂直压力总值 $Q_{浅}$ 为：

$$Q_{浅} = W - 2T' = W - 2T\sin\theta \tag{6-7}$$

三棱体自重为：

$$W_1 = \frac{1}{2}\gamma \cdot h \cdot \frac{h}{\mathrm{tg}\beta} \tag{6-8}$$

式中：h——坑道底部到地面的距离；

β——破裂面与水平面的夹角。则

$$T = \frac{\sin(\beta - \varphi_g)}{\sin[90^\circ - (\beta - \varphi_g + \theta)]} W_1 = \frac{1}{2}\gamma h^2 \frac{\lambda}{\cos\theta} \tag{6-9}$$

λ 为侧压力系数，其计算公式为：

$$\lambda = \frac{\mathrm{tg}\beta - \mathrm{tg}\varphi_g}{\mathrm{tg}\beta[1 + \mathrm{tg}\beta(\mathrm{tg}\varphi_g - \mathrm{tg}\theta) + \mathrm{tg}\varphi_g\mathrm{tg}\theta]} \tag{6-10}$$

T 值是随 β 值的大小而变化的，在达到极限平衡状态的破裂面位置时，求得极限最大阻力 T 值，于是，求得作用在 *HG* 面上的总垂直压力 $Q_{浅}$：

$$Q_{浅} = W - 2T\sin\theta \tag{6-11}$$

由于 *GC*、*HD* 与 *EG*、*FH* 相比往往较小，而且衬砌与土之间的摩擦角也不同，前面分析时按 θ 计，当中间土块下滑时，由 *FH* 及 *EG* 而传递，考虑压力稍大些对设计的结构偏于安全，因此，摩阻力不计隧道部分而只计洞顶部分，即在计算中用埋深 H 代替 h，这样，可得：

$$Q_{浅} = W - \gamma H^2\lambda\,\mathrm{tg}\theta \tag{6-12}$$

由于

$$W = B_t H\gamma \tag{6-13}$$

故

$$Q_{浅} = B_t H\gamma - \gamma H^2\lambda\mathrm{tg}\theta = \gamma H(B_t - H\lambda\,\mathrm{tg}\theta) \tag{6-14}$$

换算为作用在支护结构上的均布荷载 $q_{浅}$(见图 6-3),即:

$$q_{浅} = \frac{Q_{浅}}{B_t} = \gamma H\left(1 - \frac{H}{B_t}\lambda \operatorname{tg}\theta\right) \tag{6-15}$$

作用在支护结构两侧的水平侧压力为:

$$\begin{cases} e_1 = \gamma H\lambda \\ e_2 = \lambda h\lambda \end{cases} \tag{6-16}$$

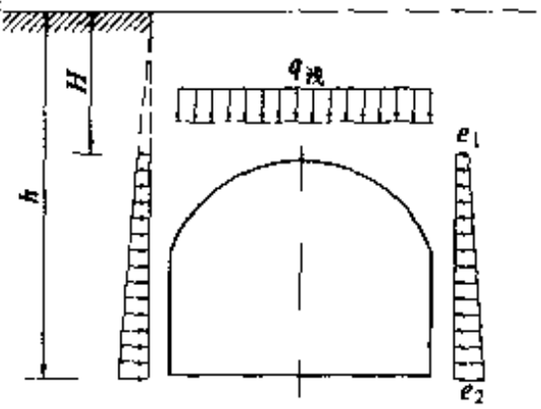


图 6-3 作用在支护结构的荷载

侧压力视为均布压力时为:

$$e = \frac{1}{2}(e_1 + e_2) \tag{6-17}$$

由式(6-15)可见,当隧道在某岩(土)体中,若 γ、λ、θ、B_t 等均为常数时,则由 $\mathrm{d}q_{浅}/\mathrm{d}H = 0$ 可得 q_{max}时的深度 H_p,即

$$H_p = B_t/(2\lambda \operatorname{tg}\theta) \tag{6-18}$$

从而

$$q_{max} = \frac{\gamma B_t}{4\lambda \operatorname{tg}\theta} \tag{6-19}$$

由此可见,浅埋隧道围岩压力是随坑道埋深 H 增加而增加的,当 $H > H_p$ 以后,则要逐渐减小;当等于深埋隧道荷载时,则围岩压力将维持不变。

在判定深、浅埋隧道的分界时,若用理论式(6-15),也可得出 H_p 值,往往与式(6-4)所求得的出入较大。事实上,用理论式计算,一些参数(如 λ 等)就带有主观性,公式的推导又是由匀质材料出发,把围岩视作各向同性体,与实际有出入。目前一般按式(6-4)判别,理论式(包括其它理论式,如泰沙基公式等)、检算卸载拱法或其它经验判断法等作参考。

69.如何利用隧道压力平衡拱理论确定围岩压力?

答:为了确定作用在支护结构物上的围岩压力,普托季雅克诺夫提出了基于坍落拱的计算原理。他认为,所有地层都可视为具有一定粘结力的"松散介质",引入了似摩擦系数 f_{up}的概念。即:

在具有一定粘结力的松散介质中开挖隧道后，其上方会形成一抛物线状的天然拱，这实质上就是前面所讲的松散介质、裂隙岩层中开挖坑道时的那种破坏范围。而作用在支护结构上的竖向压力就是这个破坏范围（天然拱）以内的松动岩体的重量。因此，问题归结到如何确定出天然拱（即坍落拱）的尺寸，如图 6-4 所示。

在松散介质中开挖坑道，其上方形成坍落拱。该坍落拱外缘为一质点（即厚度很薄的拱），如图 6-5 所示，其存在条件有两个：

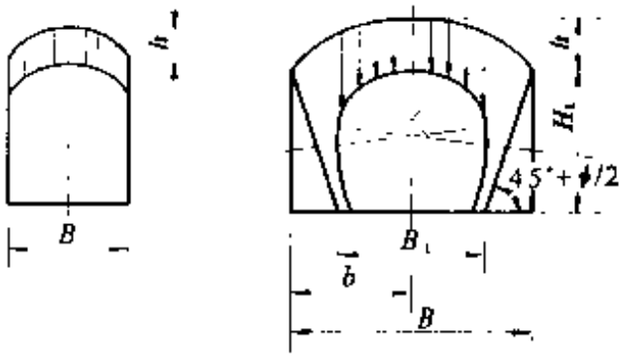


图 6-4　坍落拱

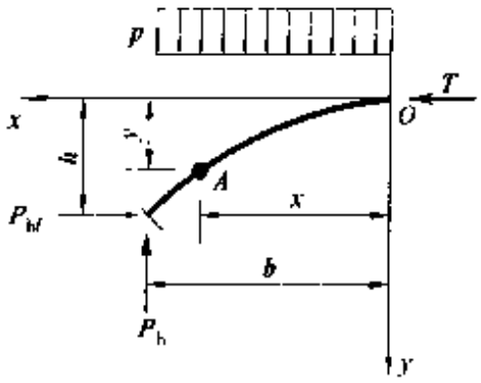


图 6-5　质点拱

①在任何一截面上无弯矩作用；

②拱脚能保持稳定而不致产生滑动。

由上述第一个条件，对 A 点取矩 $\sum M_A = 0$，则

$$y = \frac{px^2}{2T} \tag{6-20}$$

式中：T——拱顶推力；

p——作用在“天然拱”上的竖向均布力；

x、y——质点拱上任意一点 A 的坐标。令 $x = b$，$y = h$ 得：

$$T = \frac{pb^2}{2h} \tag{6-21}$$

式中：b——坍落拱半跨度；

h——坍落拱高度。

由式(6-20)及式(6-21)可见，坍落拱的外缘曲线为二次抛物线。

由第二条件可知，要保持拱脚稳定而不滑动，拱脚处水平摩阻力必须大于该处的推力 T，取安全系数为 2，则：

$$\frac{P_h f_{up}}{T} = 2 \quad 或 \quad T = \frac{P_h f_{up}}{2} \tag{6-22}$$

将式(6-21)代入式(6-22),则可得:

$$h = b/f_{up} \tag{6-23}$$

式中:f_{up}——普氏系数。作用在支护结构上的竖直均布压力 q 为:

$$q = \gamma h \tag{6-24}$$

作用在支护结构物上的侧压力也视为均匀分布,可按一般土力学原理得:

$$e = \left(q + \frac{1}{2}\gamma H\right) \mathrm{tg}^2\left(45° - \frac{\phi}{2}\right) \tag{6-25}$$

式中:H——坑道高度;

e——水平均布围岩压力(kN/m^2);

ϕ——围岩的内摩擦角。

按普氏地压理论计算的竖向压力,对于软土质地层偏小;对于硬土质和坚硬地层则偏大。一般在松散,破碎围岩中较为适用。

70.如何利用泰沙基理论确定公路隧道围岩压力?

答:泰沙基也把隧道围岩视为散粒体。他认为坑道开挖后,其上方围岩将形成卸落拱,如图 6-6 所示。假定坑道上方岩体因坑道变形而下沉,并产生错动面 OAB,假定作用在任何水平断面上的竖向压力 σ_v 是均布的,相应的水平应力 σ_H 与 σ_v 的比值为 K,即 $K = \sigma_H/\sigma_v$。

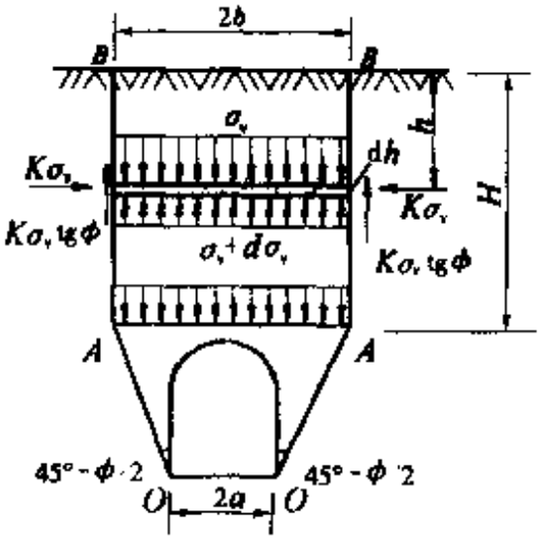


图 6-6 压力计算图示

在距离地面深度 h 处,取出一厚度为 dh 的水平条带,考虑其平衡条件,并引进边界条件 $h = 0$ 及 $\sigma_v = 0$ 可得:

$$\sigma_v = \frac{\gamma b}{K\mathrm{tg}\phi}\left(1 - e^{-K\mathrm{tg}\phi\frac{h}{b}}\right) \tag{6-26}$$

式中：b——洞顶松动宽度之半。随着隧道埋深 h 的增大，则 σ_v 趋近于某一固定值，且：

$$\sigma_v = \frac{\gamma b}{K \mathrm{tg}\phi} \tag{6-27}$$

泰沙基根据实验结果，得出 $K = 1.0 \sim 1.5$，取 $K = 1.0$，则：

$$\sigma_v = \gamma \frac{b}{\mathrm{tg}\phi} \tag{6-28}$$

如以 $\mathrm{tg}\phi = f$ 代入式(6-28)，则：

$$\sigma_v = \gamma \frac{b}{f} = \gamma h \tag{6-29}$$

71.我国公(铁)路隧道推荐围岩压力计算方法的基本内容是什么?

答：它是以工程类比法为基础，统计分析了我国数百座公(铁)路隧道的坍塌方调查资料而拟定的。我国《公路隧道设计规范》(JTJ 026－90) 现亦推荐此法，即按工程类比法计算围岩竖直均匀压力，其计算方法与本节问题 67 介绍的方法相同。

围岩水平均布压力 e(kPa)，可按表 6-5 中的经验公式计算，其适用条件同式(6-1)。

围岩水平均布压力(kPa) 表 6-5

围岩类别	I	II	III	IV	V～VI
水平均布压力 e	$(0.5 \sim 1.0)q$	$(0.3 \sim 0.5)q$	$(0.15 \sim 0.3)q$	$<0.15\ q$	0

显然上述方法不适用于喷射混凝土衬砌锚杆支护的隧道，因为它在围岩发生松动以前便已敷设完毕，其荷载性质具有很大的差异。

第二节　隧道计算的荷载类型及组合

72.隧道结构体系的计算模型及其基本内容是什么?

答：在 19 世纪末，混凝土已经是广泛使用的建筑材料，它具有

整体性好，可以在现场根据需要进行模注等特点。这时，隧道衬砌结构是作为超静定弹性拱计算的，但仅考虑作用在衬砌上的围岩压力，而未将围岩的弹性抗力计算在内，忽视了围岩对衬砌的约束作用。由于把衬砌视为自由变形的弹性结构，因而，通过计算得到的衬砌结构厚度很大，过于安全。大量的隧道工程实践表明，衬砌厚度可以减小，因此，后来上述两种计算方法已经不再使用了。进入20世纪后，通过长期观测，发现围岩不仅对衬砌施加压力，同时还约束着衬砌的变形。围岩对衬砌变形的约束，对改善衬砌结构的受力状态有利，不容忽视。衬砌在受力过程中的变形，一部分结构有离开围岩形成"脱离区"的趋势，另一部分压紧围岩形成所谓"抗力区"。在抗力区内，约束着衬砌变形的围岩，相应地产生被动抵抗力，即"弹性抗力"。抗力区的范围和弹性抗力的大小，因围岩性质、围岩压力大小和结构变形的不同而不同。但是对这个问题有不同的见解，即局部变形理论和共同变形理论。

局部变形理论是以温克尔(E. Winkler)假定为基础的。它认为应力(σ_i)和变形(δ_i)之间呈直线关系，即 $\sigma_i = k\delta_i$；k 为围岩弹性抗力系数。这一假定相当于认为围岩是一组各自独立的弹簧，每个弹簧表示一个小岩柱。虽然实际的弹性体变形是互相影响的，施加于一点的荷载会引起整个弹性体表面的变形，即共同变形。但温克尔假定能反映衬砌的应力与变形的主要因素，且计算简便实用，可以满足工程设计的需要。应当指出，弹性抗力系数 k 并非常数，它取决于很多因素，如围岩的性质、衬砌的形状和尺寸以及荷载类型等。不过对于深埋隧道，可以视为常数。

共同变形理论把围岩视为弹性半无限体，考虑相邻质点之间变形的相互影响。它用纵向变形系数 E 和横向变形系数 μ 表示地层特征，并考虑粘结力 c 和内摩擦角 ϕ 的影响。但这种方法所需围岩物理力学参数较多，而且计算颇为繁杂，计算模型也有严重缺陷，另外还假定施工过程中对围岩不产生扰动等，更是与实际情况不符，因而我国很少采用。

国际隧道协会(ITA)在1987年成立了隧道结构设计模型研究

组，收集和汇总了各会员国目前采用的地下结构设计方法。经过总结，国际隧道协会认为，目前采用的地下结构设计方法可以归纳为以下4种设计模型：

(1)以参照过去隧道工程实践经验进行工程类比为主的经验设计法；

(2)以现场测量和实验室试验为主的实用设计方法。例如，以洞周位移测量值为根据的收敛约束法；

(3)作用与反作用模型，即荷载—结构模型。例如，弹性地基圆环计算和弹性地基框架计算等计算法；

(4)连续介质模型，包括解析法和数值法。数值计算法目前主要是有限单元法。

从各国的地下结构设计实践看，目前在设计隧道的结构体系时，主要采用两类计算模型：一类是以支护结构作为承载主体，围岩作为荷载同时考虑其对支护结构的变形约束作用的模型；另一类则相反，视围岩为承载主体，支护结构则为约束围岩变形的模型。

前者又称为传统的结构力学模型。它将支护结构和围岩分开来考虑，支护结构是承载主体，围岩作为荷载的来源和支护结构的弹性支承，故又可称为荷载—结构模型。在这类模型中隧道支护结构与围岩的相互作用是通过弹性支承对支护结构施加约束来体现的，而围岩的承载能力则在确定围岩压力和弹性支承的约束能力时间接地考虑。围岩的承载能力越高，它给予支护结构的压力越小，弹性支承约束支护结构变形的抗力越大，相对来说，支护结构所起的作用就变小了。

这一类计算模型主要适用于围岩因过分变形而发生松弛和崩塌，支护结构主动承担围岩"松动"压力的情况。因此，利用这类模型进行隧道支护结构设计的关键问题，是如何确定作用在支护结构上的主动荷载，其中最主要的是围岩所产生的松动压力，以及弹性支承给支护结构的弹性抗力。一旦这两个问题解决了，剩下的就只是运用普通结构力学方法求出超静定体系的内力和位移了。

属于这一类模型的计算方法有：弹性连续框架（含拱形）法、假定抗力法和弹性地基梁（含曲梁和圆环）法等都可归属于荷载结构法。当软弱地层对结构变形的约束能力较差时（或衬砌与地层间的空隙回填，灌浆不密实时），地下结构内力计算常用弹性连续框架法，反之，可用假定抗力法或弹性地基梁法。弹性连续框架法即为进行地面结构内力计算时的力法与变形法。假定抗力法和弹性地基梁法则已形成了一些经典计算方法。由于这个模型概念清晰，计算简便，易于被工程师们所接受，至今仍很通用，尤其是对模筑衬砌。

第二类模型又称为岩体力学模型。它是将支护结构与围岩视为一体，作为共同承载的隧道结构体系，故又称为围岩—结构模型或复合整体模型。在这个模型中围岩是直接的承载单元，支护结构只是用来约束和限制围岩的变形，这一点正好和上述模型相反。复合整体模型是目前隧道结构体系设计中力求采用的并正在发展的模型，因为它符合当前的施工技术水平。在围岩—结构模型中可以考虑各种几何形状，围岩和支护材料的非线性特性，开挖面空间效应所形成的三维状态，以及地质中不连续面等等。在这个模型中有些问题是可以用解析法求解，或用收敛—约束法图解，但绝大部分问题，因数学上的困难必须依赖数值方法，尤其是有限单元法。利用这个模型进行隧道结构体系设计的关键问题，是如何确定围岩的初始应力场，以及表示材料非线性特性的各种参数及其变化情况。一旦这些问题解决了，原则上任何场合都可用有限单元法分析围岩和支护结构应力和位移状态。

73. 公路隧道设计时所考虑的荷载类型及其组合情况如何？

答：围岩压力与结构自重力是隧道结构计算的基本荷载。明洞及明挖法施工的隧道，填土压力与结构自重力是结构的主要荷载。《公路隧道设计规范》（JTJ 026—90）中在对隧道结构进行计算时，列出了荷载类型，并按其可能出现的最不利组合考虑。其它各种荷载除公路车辆荷载之外，在结构计算时考虑的几率很小，有的

也很难准确的表达与定量，表中所列荷载不论几率大小，力求齐全，是为了体现荷载体系的完整，也是为了在结构计算时荷载组合的安全系数取值，并与《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001)的取值保持一致。同时，又本着公路隧道荷载分类向公路荷载分类方法靠的原则，在形式上与《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)保持一致，在取用荷载组合安全系数时又能与铁路隧道荷载分类相对应。表 6-6 中的永久荷载加基本可变荷载对应于铁路隧道设计规范中的主要荷载，其它可变荷载对应于铁路隧道的附加荷载，偶然荷载对应于铁路的特殊荷载。表 6-6 所列的荷载及分类不适用于新奥法(NATM)设计与施工的隧道。

作用在隧道结构上的荷载　　表 6-6

编号	荷载类型		荷载名称
1	永久荷载(恒载)		围岩压力
2			结构自重力
3			填土压力
4			混凝土收缩和徐变影响力
5	可变荷载	基本可变荷载	公路车辆荷载，人群荷载
6			立交公路车辆荷载及其所产生的冲击力和土压力
7			立交铁路列车荷载及其所产生的冲击力和土压力
8		其它可变荷载	立交渡槽流水压力
9			温度变化的影响力
10			冻胀力
11	偶然荷载		落石冲击力
12			地震力
13			施工荷载

由于隧道设计中贯彻了“早进晚出”的原则，洞口接长明洞的边坡都不很高，加之落石多为滚滑、跳跃落下，直接砸落在明洞上者极少。而当遇有大量落石和堕落高度较大的石块，可设法避开

或者采取清除危石加固坡面等措施，故一般情况下落石冲击力可不予考虑。

当有落石危害须检算冲击力时，则只计洞顶实际填土重力(不包括坍方堆积土石重力)和落石冲击力的影响。落石冲击力的计算，目前研究还不深入，实测资料也很少，故对其计算未做规定，具体设计时可通过现场测量或有关计算验证。

设计山岭公路隧道建筑物时，一般不需考虑列车荷载及公路车辆荷载，只有当隧道结构构件承受公路车辆荷载及列车荷载才按有关规定进行计算。

作用在衬砌上的荷载，按其性质也可以区分为主动荷载与被动荷载。主动荷载是主动作用于结构、并引起结构变形的荷载；被动荷载是因结构变形压缩围岩而引起的围岩被动抵抗力，即弹性抗力，它对结构变形起限制作用。

主动荷载包括主要荷载(指长期及经常作用的荷载，有围岩压力、回填土荷载、衬砌自重、地下静水压力等)和附加荷载(指非经常作用的荷载，有灌浆压力、冻胀压力、混凝土收缩应力、温差应力以及地震力等)。计算荷载应根据这两类荷载同时存在的可能性进行组合。在一般情况下可仅按主要荷载进行计算。特殊情况下才进行必要的组合，并选用相应的安全系数检算结构强度。

被动荷载主要指围岩的弹性抗力，它只产生在被衬砌压缩的那部分周边上。其分布范围和图式一般可按工程类比法假定，通常可作简化处理。

74.明洞设计时，荷载组合设计应满足什么基本要求？

答：明洞设计时，荷载组合设计应满足如下基本要求：

(1)明洞顶回填土压力，当有落石危害需验算冲击力时，只需计洞顶实际填土重力和落石冲击力的影响，不计塌方堆积土石重力；

(2)当明洞上方与与公路立交时，应考虑公路车辆荷载。公路车辆荷载计算应按交通部颁发的《公路桥涵设计通用规范》(JTJ

021—89)的有关规定办理；

(3)当明洞上方与铁路立交时，应考虑列车荷载，列车荷载按铁路标准荷载的有关规定计算。

第三节　衬砌的计算

75.公路隧道半衬砌设计计算的基本内容是什么？半衬砌计算的基本方法如何？

答：拱圈直接支承在坑道围岩侧壁上时，称为半衬砌。常适合于坚硬和较完整的围岩(Ⅳ、Ⅴ类)中，或用先拱后墙法施工时，在拱圈已作好，但马口尚未开挖前，拱圈也处于半衬砌工作状态。

(1)计算图示、基本结构及正则方程

公路隧道中的拱圈，一般矢跨比不大，在垂直荷载作用下拱圈向坑道内变形，为自由变形，不产生弹性抗力。由于支承拱圈的围岩是弹性的，即拱圈支座是弹性的，在拱脚反力的作用下圈岩表面将发生弹性变形，使供脚产生角位移和线位移，拱脚位移将使拱圈内力发生改变，因而计算中除按固端无铰拱考虑外，还必须考虑拱脚位移的影响。对于拱脚位移，还可以作些具体分析，使计算图式得到简化。通常，拱脚截面剪力很小，它与围岩之间的摩擦力很大，可以认为拱脚没有沿隧道径向的位移，只有切向位移，所以在计算图式中，在固端支座上用一根径向刚性支承链杆加以约束，如图 6-7a)所示。切向位移可以分解为垂直和水平方向两个分位移。在结构对称和荷载对称条件下，两拱脚的位移也是对称的。对称的垂直分位移对拱圈内力不产生影响。拱脚的转角 β_a 和切向位移的水平分位移 u_a 是必须考虑的。图中所示为正号方向，即水平分位移向外为正，转角与正弯矩方向相同时为正。采用力法计算时，将拱圈在拱顶处切开，取基本结构如图 6-7b)所示。固端无铰拱为三次超静定，有三个多余未知力，即弯矩 X_1，轴向力 X_2 和剪力 X_3。结构对称和荷载对称时 $X_3=0$，变成二次超静定结构。按

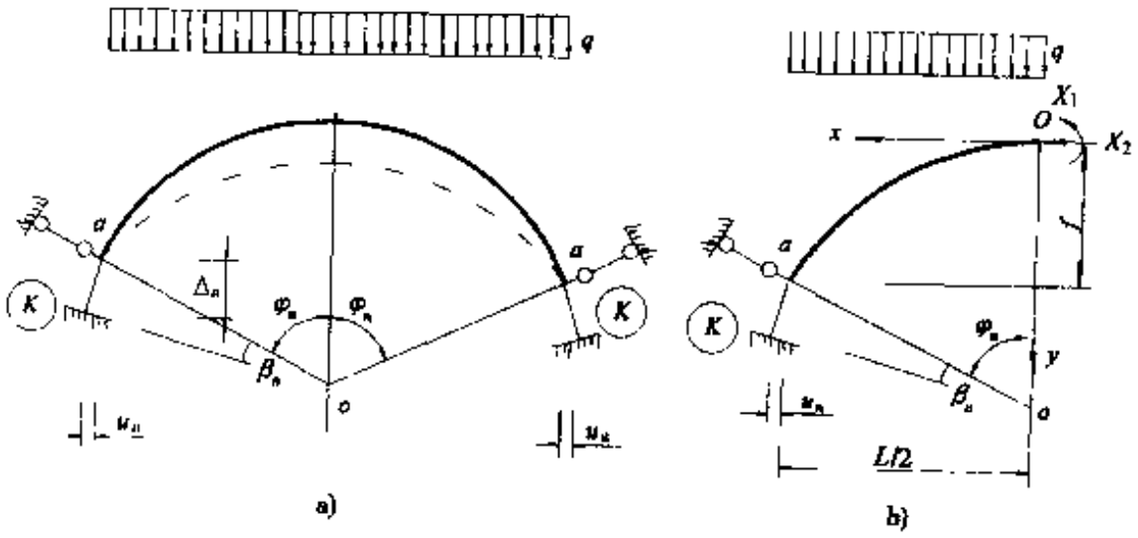


图 6-7　半衬砌基本结构及约束

拱顶切开处的截面相对变位为零的条件，可建立如下正则方程式：

$$\begin{cases} X_1\delta_{11} + X_2\delta_{12} + \Delta_{1p} + \beta_a = 0 \\ X_1\delta_{21} + X_2\delta_{22} + \Delta_{2p} + f\beta_a + u_a = 0 \end{cases} \tag{6-30}$$

式中：δ_{ik}——单位变位，即在基本结构上，因 $\bar{X}_k = 1$ 作用时，在 X_i 方向上所产生的变位；

Δ_{ip}——荷载变位，即基本结构因外荷载作用，在 X_i 方向的变位；

f——拱圈的矢高；

β_a、u_a——拱脚截面的最终转角和水平位移。

如果式(6-30)中的各个变位都能求出，则可用结构力学的力法知识解算出多余未知力 X_1 和 X_2，进而求出拱圈内力。

(2)单位变位及荷载变位的计算

由结构力学求变位的方法(轴向力与剪力影响忽略不计)知道：

$$\delta_{ik} = \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_k}{EJ} ds \tag{6-31}$$

$$\Delta_{ip} = \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_p^0}{EJ} ds \tag{6-32}$$

式中：$\bar{M}_i$——基本结构在 $\bar{X}_i = 1$ 作用下所产生的弯矩；

$\bar{M}_k$——基本结构在 $\bar{X}_k = 1$ 作用下所产生的弯矩；

M_p^0——基本结构在外荷载作用下所产生的弯矩；

EJ——结构的刚度。

在进行具体计算时，由于结构对称、荷载对称，只需计算半个拱圈。在很多情况下，衬砌厚度是改变的，给积分带来不便，这时可将拱圈分成偶数段，用抛物线近似积分法代替，式(6-31)及式(6-32)可以改写为：

$$\begin{cases} \delta_{ik} \approx \dfrac{\Delta s}{E} \sum \dfrac{\bar{M}_i \bar{M}_k}{J} \\ \Delta_{ip} \approx \dfrac{\Delta s}{E} \sum \dfrac{M_i M_p^0}{EJ} \end{cases} \tag{6-33}$$

利用式(6-33)，参照图 6-8 容易求得下列变位：

$$\begin{cases} \delta_{11} \approx \dfrac{\Delta s}{E} \sum \dfrac{1}{J} \\ \delta_{12} \approx \dfrac{\Delta s}{E} \sum \dfrac{y}{J} \\ \delta_{22} \approx \dfrac{\Delta s}{E} \sum \dfrac{y^2}{J} \\ \Delta_{1p} \approx \dfrac{\Delta s}{E} \sum \dfrac{M_p^0}{EJ} \\ \Delta_{2p} \approx \dfrac{\Delta s}{E} \sum \dfrac{yM_p^0}{EJ} \end{cases} \tag{6-34}$$

式中：Δs——半拱弧长 n 等分后的每段弧长。计算表明，当拱厚 $d < l/10$(l 为拱的跨度)时，曲率和剪力的影响可以略去。当矢跨比 $f/l > 1/3$ 时，轴向力影响可以略去。

(3)拱脚位移计算

①单位力矩作用时

单位力矩作用在拱脚围岩上时，拱脚截面绕中心点 a 转过一个角度 $\bar{\beta}_1$，如图 6-9 所示，拱脚截面仍保持为平面，其内(外)缘处围岩的最大应力 σ_1 和拱脚内(外)缘的最大沉陷 δ_1 为：

$$\sigma_1 = \frac{\bar{M}_a}{W_a} = \frac{6}{bh_a^2} \tag{6-35}$$

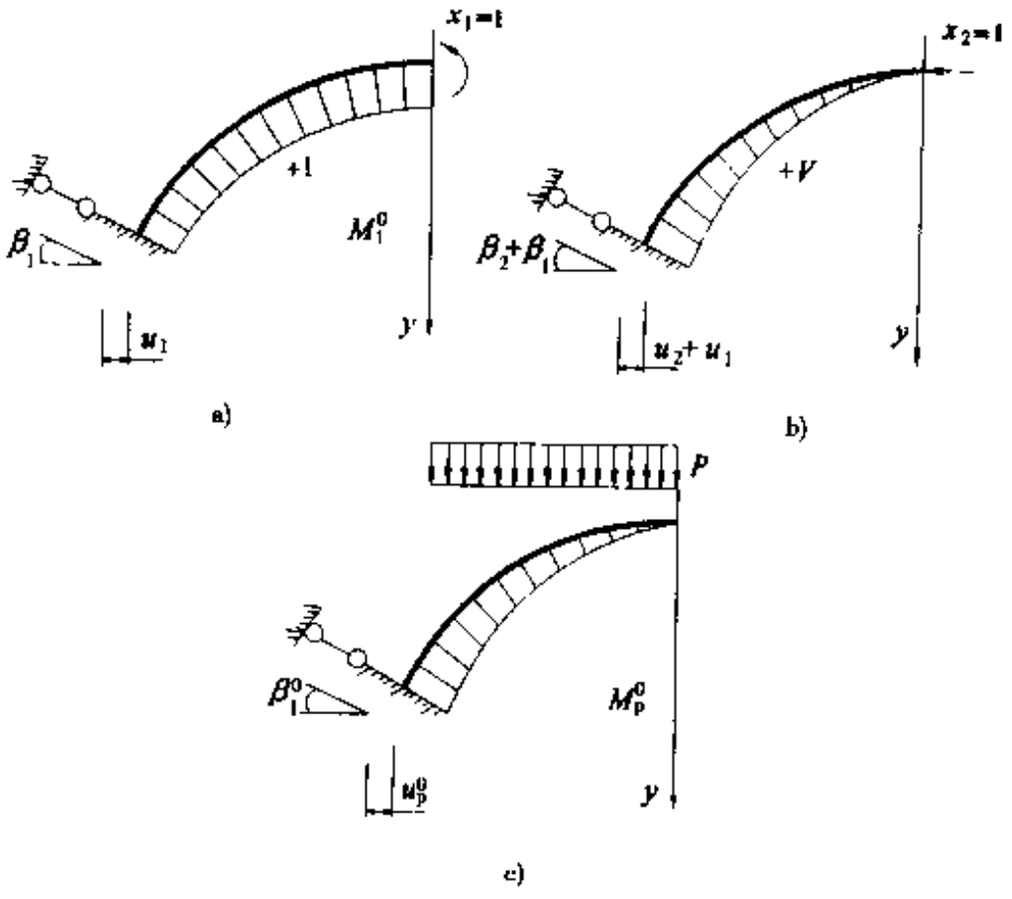


图 6-8

$$\delta_1 = \frac{\sigma_1}{k_a} = \frac{6}{k_a b h_a^2} \tag{6-36}$$

拱脚截面绕中心点 a 转过一个角度 $\bar{\beta}_1$，点 a 不产生水平位移，则有：

$$\bar{\beta}_1 = \frac{2\delta_1}{h_a} = \frac{12}{k_a b h_a} = \frac{1}{k_a J_a};\ \bar{u}_a = 0 \tag{6-37}$$

上述式中：h_a——拱脚截面厚度；

W_a——拱脚截面的截面模量；

k_a——拱脚围岩基底弹性抗力系数；

J_a——拱脚截面惯性矩；

b——拱脚截面纵向单位宽度，取 1m。

②单位水平力作用时

单位水平力可以分解为轴向分力（$1\times\cos\varphi_a$）和切向分力（$1\times\sin\varphi_a$），计算时只需考虑轴向分力的影响，如图 6-10 所示，作用在

围岩表面的均布应力 σ_2 和拱脚产生的均匀沉陷 δ_2 为：

$$\sigma_2 = -\frac{\cos\varphi_a}{bh_a};\delta_2 = \frac{\sigma_2}{k_a} = \frac{\cos\varphi_a}{k_a bh_a} \tag{6-38}$$

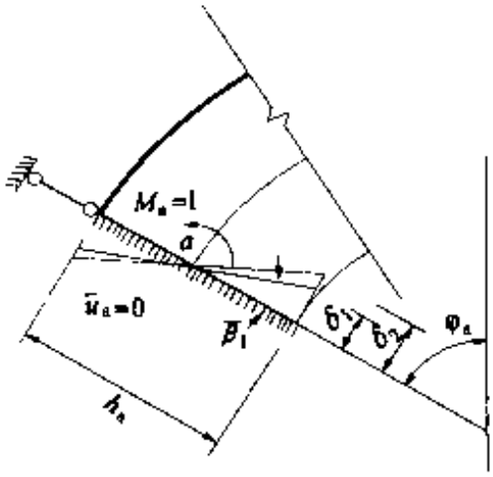


图 6-9

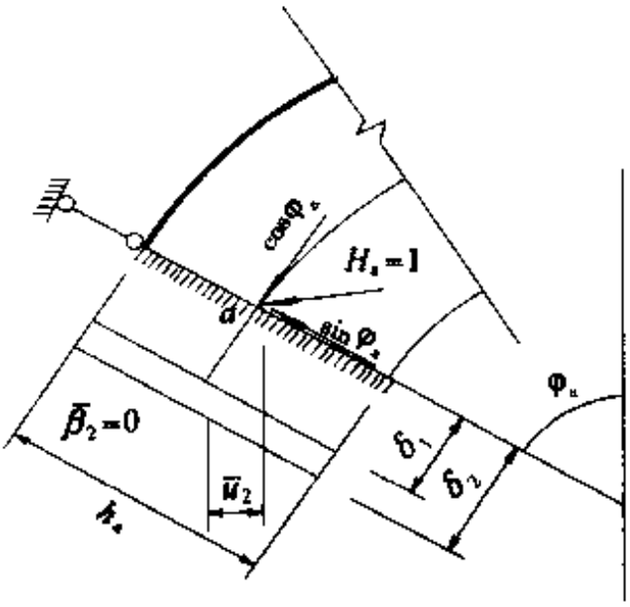


图 6-10

δ_2 的水平投影即为 a 点的水平位移 $\bar{u}_2$，均匀沉陷时拱脚截面不发生转动，则有：

$$\bar{u}_2 = \delta_2\cos\varphi_a = \frac{\cos^2\varphi_a}{k_a bh_a};\bar{\beta}_2 = 0 \tag{6-39}$$

③外荷载作用时

在外荷载作用下，基本结构中拱脚 a 点处产生弯矩 M_{ap}^0 和轴向力 N_{ap}^0，如图 6-11 所示，拱脚截面的转角 β_{ap}^0 和水平位移 u_{ap}^0 为：

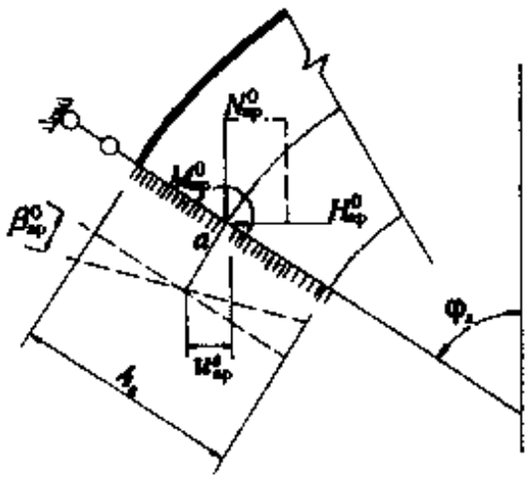


图 6-11

$$\begin{cases}\beta_{ap}^{0} = M_{ap}^{0}\beta_1 + H_{ap}^{0}\beta_2 = M_{ap}^{0}\beta_2 \\ u_{ap}^{0} = M_{ap}^{0}u_1 + H_{ap}^{0}\bar{u}_2 = N_{ap}^{0}\dfrac{\cos\varphi_a}{k_a b h_a}\end{cases} \tag{6-40}$$

④拱脚位移

拱脚的最终转角 β_a 和水平位移 u_a 分别考虑 X_1、X_2 和外荷载的影响，按叠加原理求得，可表示为：

$$\begin{cases}\beta_a = X_1\bar{\beta}_1 + X_2(\bar{\beta}_2 + f\bar{\beta}_1) + \beta_{ap}^{0} \\ u_a = X_1\bar{u}_1 + X_2(\bar{u}_2 + f\bar{u}_1) + u_{ap}^{0}\end{cases} \tag{6-41}$$

(4)拱圈截面内力

将式(6-40)和(6-41)代入正则方程(6-30)，并令：

$$\begin{cases}a_{11} = \delta_{11} + \bar{\beta}_1 \\ a_{22} = \delta_{22} + \bar{\bar{u}}_2 + f\bar{u}_1 + f\bar{\beta}_2 + f^2\bar{\beta}_1 \\ a_{12} = a_{21} = \delta_{12} + \bar{\beta}_2 + f\bar{\beta}_1 = \delta_{21} + \bar{u}_1 + f\bar{\beta}_1 \\ a_{10} = \Delta_{1p} + \beta_{ap}^{0} \\ a_{20} = \Delta_{2p} + f\beta_{ap}^{0} + u_{ap}^{0}\end{cases} \tag{6-42}$$

可得正则方程：

$$\begin{cases}a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{10} = 0 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{20} = 0\end{cases} \tag{6-43}$$

则任意截面 i 处的内力(如图 6-12)为：

$$\begin{cases}M_i = X_1 + X_2 y_i + M_{ip}^{0} \\ N_i = X_2\cos\varphi_i + N_{ip}^{0}\end{cases} \tag{6-44}$$

式中：M_{ip}^{0}和 N_{ip}^{0}——基本结构因外荷载作用在任一截面 i 处产生的弯矩和剪力；

y_i——截面 i 的纵坐标；

φ_i——截面 i 与垂直线之间的夹角。

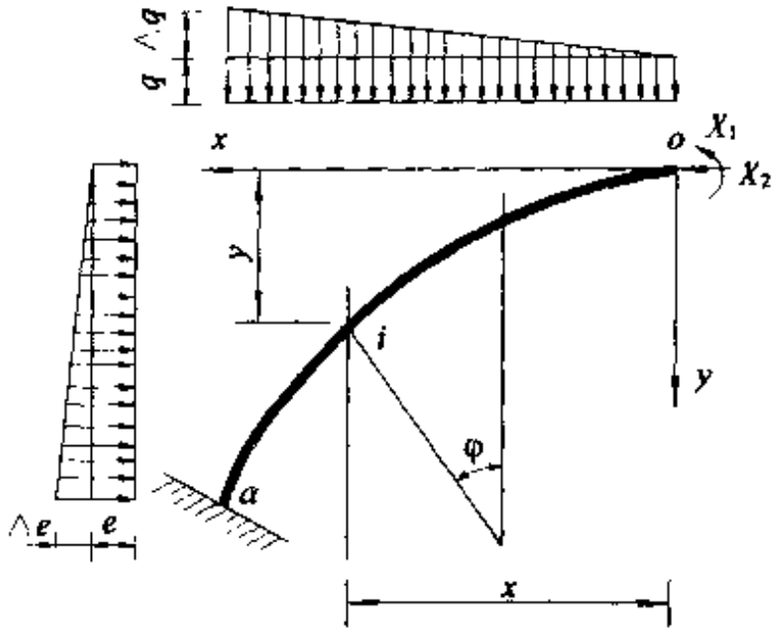


图 6-12

求出截面弯矩和轴力后，即可绘出内力图，如图 6-13 所示，并确定出危险截面。

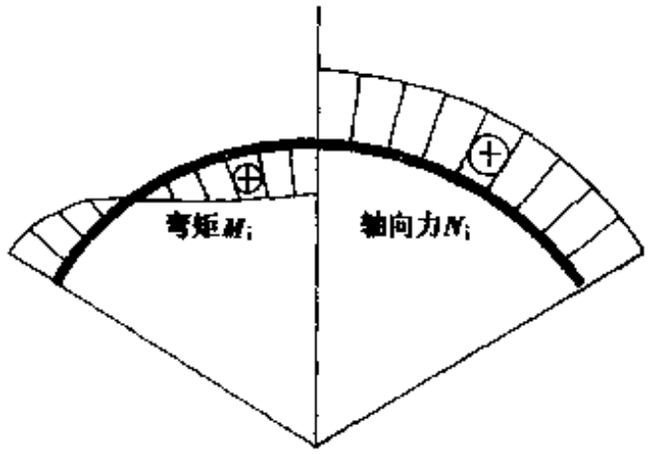


图 6-13

上述计算是将拱圈视为自由变形得到的计算结果。由于没有考虑弹性抗力，所以弯矩是比较大的，因此截面也较厚。如果围岩较坚硬，或者拱的形状较尖，则可能有弹性抗力。衬砌背后的密实回填是提供弹性抗力的必要条件，但是拱部的回填相当困难，不容易做到密实。仅在起拱线以上 1～1.5m 范围内的超挖部分，由于是用与拱圈同级的混凝土回填的，可以做到密实以外，其余部分的回填则比较松散，不能有效地提供弹性抗力。拱脚处无径向位移，

故弹性抗力为零，最大值在上述的 1～1.5m 处，中间的分布规律较复杂，为简化计算可以假定为按直线分布。考虑弹性抗力的拱圈计算，可参考曲墙式衬砌讲行。

76.公路隧道曲墙式衬砌设计计算的基本内容是什么？曲墙式衬砌计算的基本方法如何？

答：在衬砌承受较大的垂直方向和水平方向的围岩压力时，常常采用曲墙式衬砌形式。它由拱圈、曲边墙和底板组成，有向上的底部压力时设仰拱。曲墙式衬砌常用于 I～III 类围岩中，拱圈和曲边墙作为一个整体按无铰拱计算，施工时仰拱是在无铰拱业已受力之后修建的，因此，一般不考虑仰拱对衬砌内力的影响。

(1)计算图式

在主动荷载作用下，顶部衬砌向隧道内变形而形成脱离区，两侧衬砌向围岩方向变形，引起围岩对衬砌的被动弹性抗力，形成抗力区。抗力图形分布规律按结构变形特征作以下假定(见图 6-14)：

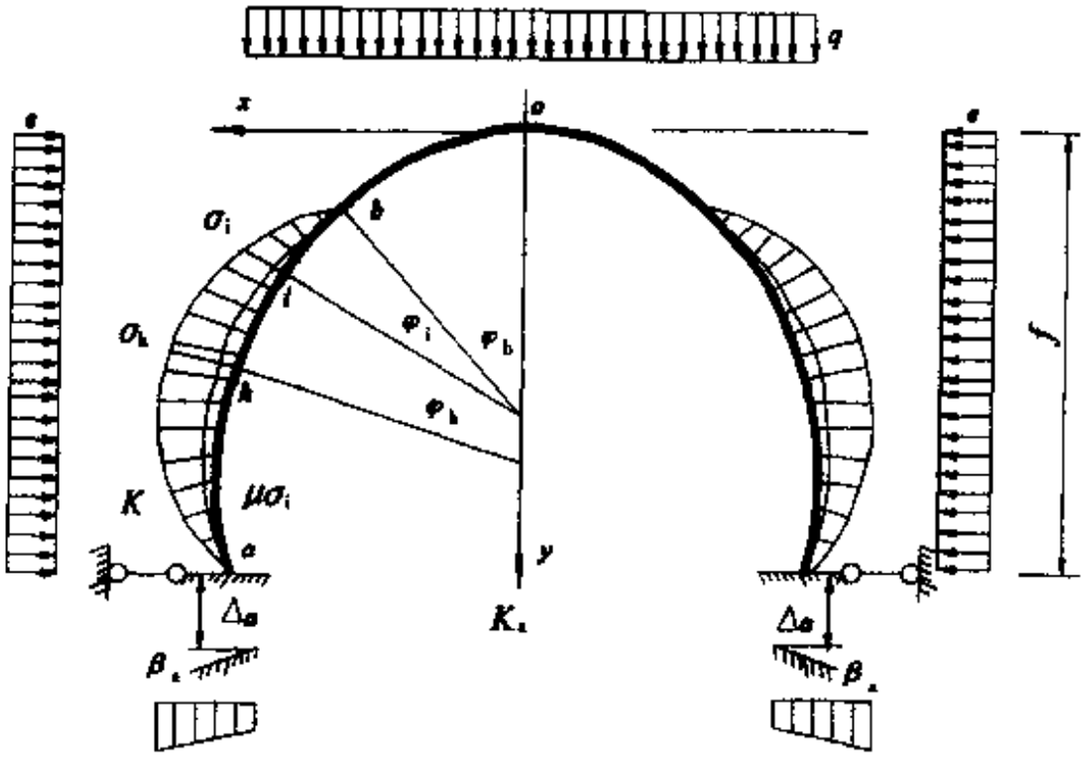


图 6-14　按结构变形特征的抗力图形分布

①上零点 b(即脱离区与抗力区的分界点)与衬砌垂直对称中线的夹角假定为 $\varphi_b = 45°$;

②下零点 a 在墙脚。墙脚处摩擦力很大,无水平位移,故弹性抗力为零;

③最大抗力点 h 假定发生在最大跨度处附近,计算时一般取 $ah \approx 2ab/3$,为简化计算可取在分段的接缝上;

④抗力图形的分布按以下假定计算:

拱部 bh 段抗力按二次抛物线分布,任一点的抗力 σ_i 与最大抗力 σ_h 的关系为:

$$\sigma_i = \frac{\cos^2\varphi_b - \cos^2\varphi_i}{\cos^2\varphi_b - \cos^2\varphi_h}\sigma_h \tag{6-45}$$

边墙 ha 段的抗力为:

$$\sigma_i = [1 - (y'_i/y'_h)^2]\sigma_h \tag{6-46}$$

上述式中:φ_i、φ_b、φ_h——i、b、h 点所在截面与垂直对称轴的夹角;

y'_i——i 点所在截面与衬砌外轮廓线的交点至最大抗力点 h 的距离;

y'_h——墙底外缘至最大抗力点 h 的垂直距离。

ha 段边墙外缘一般都作成直线形,且比较厚,因刚度较大,故抗力分布也可假定为与高度呈直线关系。若 ha 段的一部分外缘为直线形,则可将其分为两部分分别计算,即曲边墙段按(6-46)计算,直边墙段按直线关系计算。

两侧衬砌向围岩方向的变形引起弹性抗力,同时也引起摩擦力 S_i;其大小等于弹性抗力和衬砌与围岩间的摩擦系数的乘积:

$$S_i = \mu\sigma_i \tag{6-47}$$

计算表明,摩擦力影响很小,可以忽略不计,而忽略摩擦力的影响是偏于安全的。墙脚弹性地固定在地基上,可以发生转动和垂直位移。如前所述,在结构和荷载均对称时,垂直位移对衬砌内力不产生影响。因此,若不考虑仰拱的作用,可将计算简图表示为图 6-15 的形式。

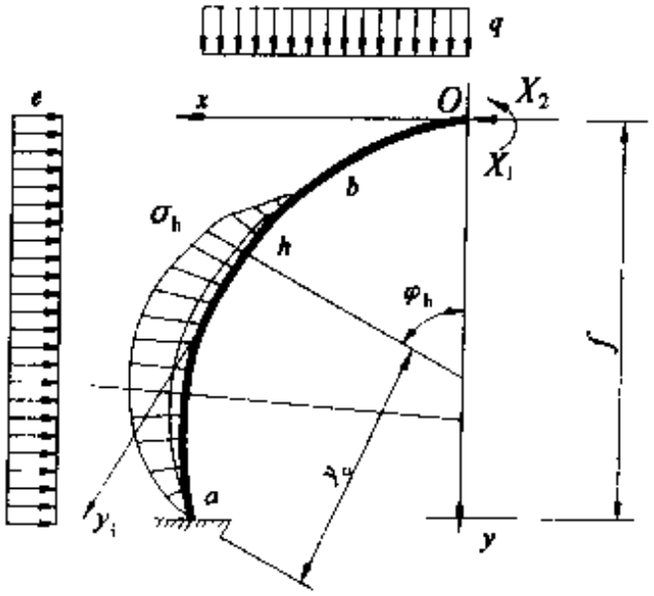


图 6-15

(2)主动荷载作用下的力法方程和衬砌内力

取基本结构如图 6-16 所示，未知力为 X_{1p}、X_{2p}，根据拱顶截面相对变位为零的条件，可以列出力法方程式：

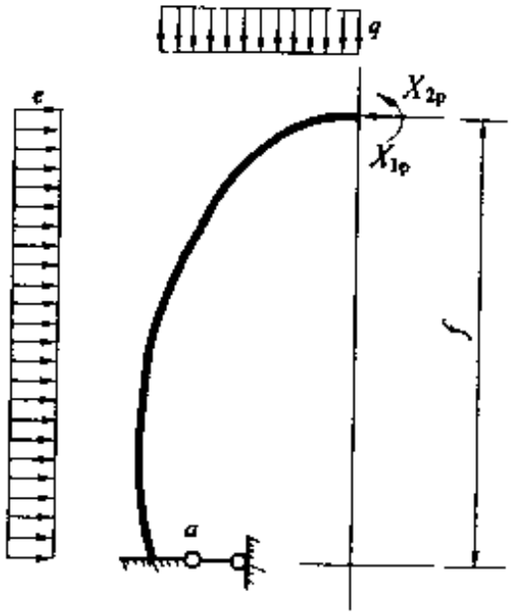


图 6-16

$$\begin{cases} X_{1p}\delta_{11} + X_{2p}\delta_{12} + \Delta_{1p} + \beta_{ap} = 0 \\ X_{1p}\delta_{21} + X_{2p}\delta_{22} + \Delta_{2p} + f\beta_{ap} + u_{ap} = 0 \end{cases} \tag{6-48}$$

式中：β_{ap}、u_{ap}——墙底位移。

分别计算 X_{1p}、X_{2p}和外荷载的影响，然后按照叠加原理相加

得到：

$$\beta_{ap} = X_{1p}\bar{\beta}_1 + X_{2p}(\bar{\beta}_2 + f\bar{\beta}_1) + \beta^0_{ap} \tag{6-49}$$

由于墙底无水平位移，故 $u_{ap}=0$，代入式(6-48)整理可得：

$$\begin{cases} X_{1p}(\delta_{11} + \bar{\beta}_1) + X_{2p}(\delta_{12} + f\bar{\beta}_1) + \Delta_{1p} + \beta_{ap} = 0 \\ X_{1p}(\delta_{21} + f\beta_1) + X_{2p}(\delta_{22} + f^2\bar{\beta}_1) + \Delta_{2p} + f\beta^0_{ap} = 0 \end{cases} \tag{6-50}$$

式中：δ_{ik}、Δ_{ip}——基本结构的单位位移和主动荷载位移，可由式(6-31)及式(6-32)求得；

β_1——墙底单位转角，可参照式(6-37)计算；

β^0_{ap}——基本结构墙底的荷载转角，可参照式(6-40)计算；

f——衬砌的矢高。

求得 X_{1p}、X_{2p}后，在主动荷载作用下，衬砌内力即可参照式(6-44)计算：

$$\begin{cases} M_{ip} = X_{1p} + X_{2p}y_i + M^0_{ip} \\ N_{ip} = X_{2p}\cos\varphi_i + N^0_{ip} \end{cases} \tag{6-51}$$

在具体进行计算时，还需进一步确定被动抗力 σ_h 的大小，这需要利用最大抗力点 h 处的变形协调条件。在主动荷载作用下，通过式(6-51)可解出内力 M_{ip}、N_{ip}，并求出 h 点的位移 δ_{hp}，如图6-17b)。在被动荷载作用下的内力和位移，可以通过 $\bar{\sigma}_h=1$ 的单位弹性抗力图形作为外荷载时所求得的任一截面内力 $\bar{M}_{ir}$、$\bar{N}_{ir}$和最大抗力点 h 处的位移 δ_{hr}，如图 6-17c)，并利用叠加原理求出 h 点的最终位移：

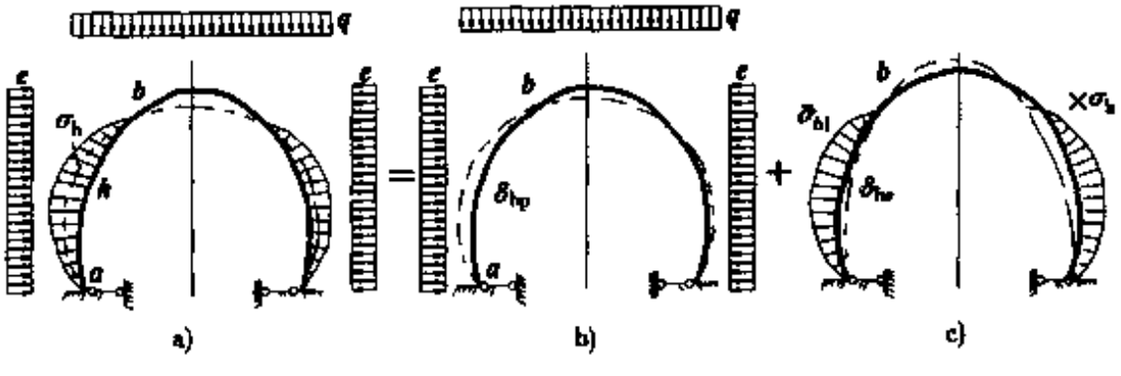


图 6-17

$$\delta_h = \delta_{hp} + \sigma_h \delta_{h\sigma} \tag{6-52}$$

由温克尔假定可以得到 h 点的弹性抗力与位移的关系：$\sigma_h = k\delta_{h\sigma}$，代入式(6-52)可得：

$$\sigma_h = \frac{k\delta_{hp}}{1 - k\delta_{h\sigma}} \tag{6-53}$$

(3)最大抗力值的计算

由式(6-53)可知，欲求 σ_h 则应先求出 δ_{hp}和 $\delta_{h\sigma}$。变位由两部分组成，即结构在荷载作用下的变位和因墙底变位(转角)而产生的变位之和。前者按结构力学方法，先画出 M_{ip}、$M_{i\sigma}$图，如图6-18a)、b)，再在 h 点处的所求变位方向上加一单位力 $p = 1$。绘出 M_{ih}图，如图 6-18c)所示，墙底变位在 h 点处产生的位移可由几何关系求出，如图 6-18d)所示。位移可以表示为：

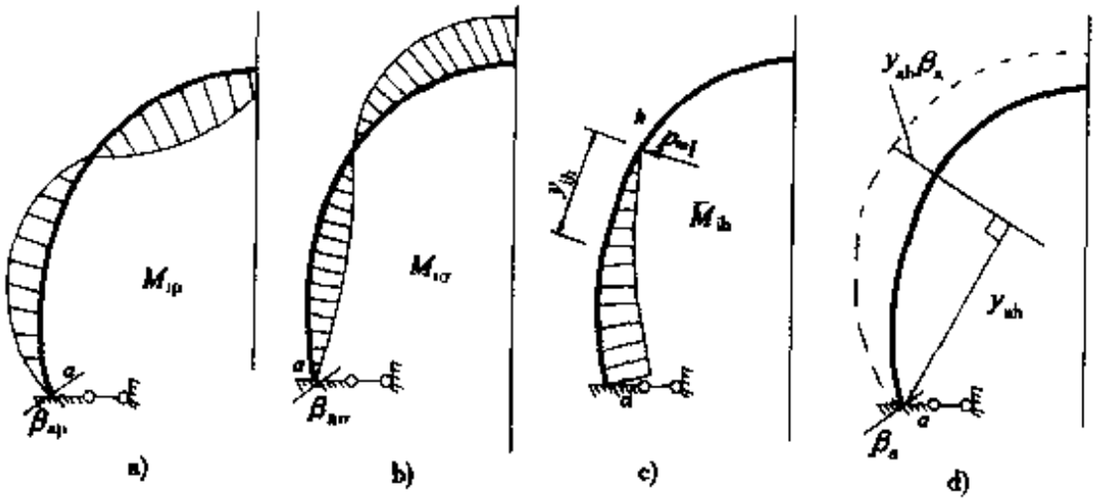


图 6-18

$$\begin{cases} \delta_{hp} = \int \dfrac{M_p \bar{M}_h}{EJ} ds + y_{ah}\beta_{ap} \approx \dfrac{\Delta s}{E} \sum \dfrac{M_p \bar{M}_h}{J} + y_{ah}\beta_{ap} \\ \delta_{h\sigma} = \int \dfrac{M_\sigma \bar{M}_h}{EJ} ds + y_{ah}\beta_{a\sigma} \approx \dfrac{\Delta s}{E} \sum \dfrac{M_\sigma \bar{M}_h}{J} + y_{ah}\beta_{a\sigma} \end{cases} \tag{6-54}$$

式中：β_{ap}——因主动荷载作用而产生的墙底转角；

$\beta_{a\sigma}$——因单位抗力作用而产生的墙底转角，可参照式(6-40)计算；

y_{ah}——墙底中心 a 至最大抗力截面的垂直距离。

如果 h 点所对应的 $\varphi = 90°$，则该点的径向位移和水平位移相

差很小，故可视为水平位移。又由于结构与荷载对称时，拱顶截面的垂直位移对 h 点径向位移的影响可以忽略不计。因此，计算该点水平位移时，可以取如图 6-19 所示的结构，使计算得到简化。按照结构力学方法，在 h 点加一单位力 $P=1$，可以求得 δ_{hp} 和 $\delta_{h\sigma}$：

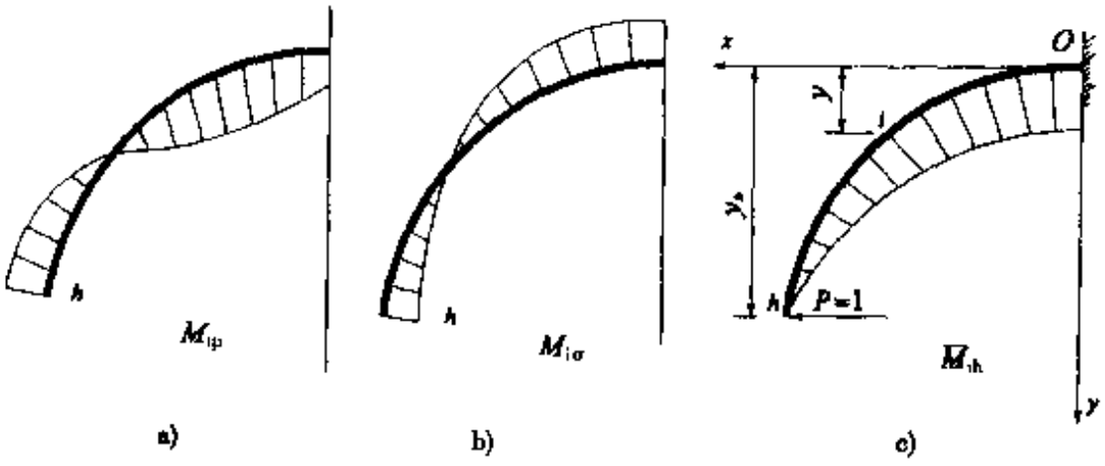


图 6-19

$$\begin{cases}\delta_{hp}=\int\dfrac{M_p(y_h-y)}{EJ}\mathrm{d}s\approx\dfrac{\Delta s}{E}\sum\dfrac{M_p}{J}(y_h-y)\\ \delta_{h\sigma}=\int\dfrac{M_\sigma(y_h-y)}{EJ}\mathrm{d}s\approx\dfrac{\Delta s}{E}\sum\dfrac{M_\sigma}{J}(y_h-y)\end{cases}\tag{6-55}$$

式中：y_h、y——点 h 和任一点的垂直坐标。

(4)在单位抗力作用下的内力

将 $\bar{\sigma}_h=1$ 抗力图视为外荷载单独作用时，未知力 $X_{1\sigma}$ 及 $X_{2\sigma}$ 可以参照 X_{1p} 及 X_{2p} 的求法得出。参照式(6-50)可以列出力法方程：

$$\begin{cases}X_{1\sigma}(\delta_{11}+\bar{\beta}_1)+X_{2\sigma}(\delta_{12}+f\bar{\beta}_1)+\Delta_{1\sigma}+\beta^0_{a\sigma}=0\\ X_{1\sigma}(\delta_{21}+f\bar{\beta}_1)+X_{2\sigma}(\delta_{22}+f^2\bar{\beta}_1)+\Delta_{2\sigma}+f\beta^0_{a\sigma}=0\end{cases}\tag{6-56}$$

式中：$\Delta_{1\sigma}$、$\Delta_{2\sigma}$——单位抗力图为荷载所引起的基本结构在 $X_{1\sigma}$、$X_{2\sigma}$ 方向上的位移；

$\beta^0_{a\sigma}$——单位抗力图为荷载所引起的基本结构墙底转角，$\beta^0_{a\sigma}=M^0_{a\sigma}\bar{\beta}_1$。解出 $X_{1\sigma}$、$X_{2\sigma}$ 后，即可求出衬砌在单位抗力图为荷载单独作用下任一截面内力：

$$\begin{cases} M_{i\sigma} = X_{1\sigma} + X_{2\sigma} y_i + M_{i\sigma}^0 \\ N_{i\sigma} = X_{2\sigma} \cos\varphi_i + N_{i\sigma}^0 \end{cases} \tag{6-57}$$

(5)衬砌最终内力计算及校核计算结果的正确性

衬砌任一截面最终内力值可利用叠加原理求得：

$$\begin{cases} M_i = M_{ip} + \sigma_h M_{i\sigma} \\ N_i = N_{ip} + \sigma_h N_{i\sigma} \end{cases} \tag{6-58}$$

校核计算结构正确性时，可以利用拱顶截面转角和水平位移为零条件和最大抗力点 a 的位移条件：

$$\begin{cases} \int \frac{M_i ds}{EJ} + \beta_a \approx \frac{\Delta s}{E} \sum \frac{M_i}{J} + \beta_a = 0 \\ \int \frac{M_i y_i ds}{EJ} + f\beta_a \approx \frac{\Delta s}{E} \sum \frac{M_i y_i}{J} + f\beta_a = 0 \\ \int \frac{M_i y_{ih} ds}{EJ} + y_{ah}\beta_a \approx \frac{\Delta s}{E} \sum \frac{M_i y_{ih}}{J} + y_{ah}\beta_a = \frac{\sigma_h}{k} \end{cases} \tag{6-59}$$

式中：β_a——墙底截面最终转角，$\beta_a = \beta_{ap} + \sigma_h \beta_{a\sigma}$。

77.公路隧道直墙式衬砌设计计算的基本内容是什么？直墙式衬砌计算的基本方法如何？

答：直墙式衬砌的计算方法很多，如力法、位移法及链杆法等，这里仅介绍力法。这种直墙式衬砌广泛用于公路隧道，它由拱圈、直边墙和底板组成。计算时仅计算拱圈及直边墙，底板不进行衬砌计算，需要时按公路路面结构计算。

(1)计算原理

拱圈按弹性无铰拱计算，拱脚支承在边墙上，边墙按弹性地基上的直梁计算，并考虑边墙与拱圈之间的相互影响，如图 6-20 所示。由于拱脚并非直接固定在岩层上，而是固定在直墙顶端，所以拱脚弹性固定的程度取决于墙顶的变形。拱脚有水平位移、垂直位移和角位移，墙顶位移与拱脚位移一致。当结构对称和荷载对称时，垂直位移对衬砌内力没有影响，计算中只需考虑水平位移与角位移。边墙支承拱圈并承受水平围岩压力，可看做置于具有侧

向弹性抗力系数为 k 的弹性地基上的直梁。有展宽基础时，其高度一般不大，可以不计其影响。由于边墙高度远远大于底部宽度，对基础的作用可以看做是置于具有基底弹性抗力系数为 k_a 的弹性地基上的刚性梁。

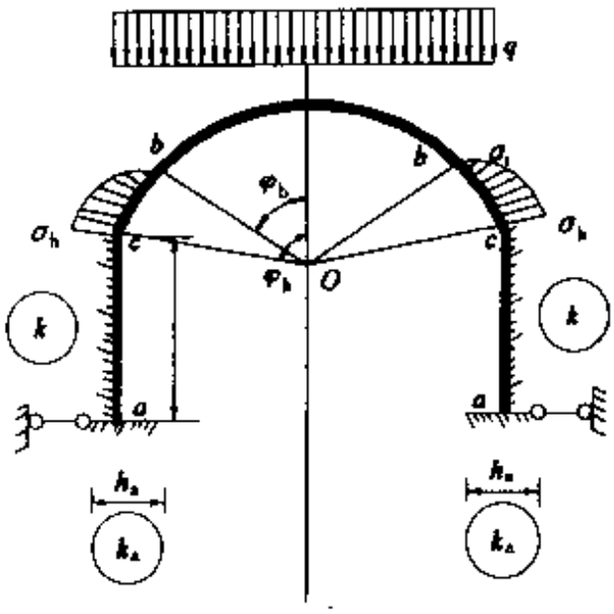


图 6-20

衬砌结构在主动荷载(围岩压力和自重等)的作用下，拱圈顶部向坑道内部产生位移，见图 6-21，这部分结构能自由变形，没有围岩弹性抗力。拱圈两侧压向围岩，形成抗力区，引起相应的弹性

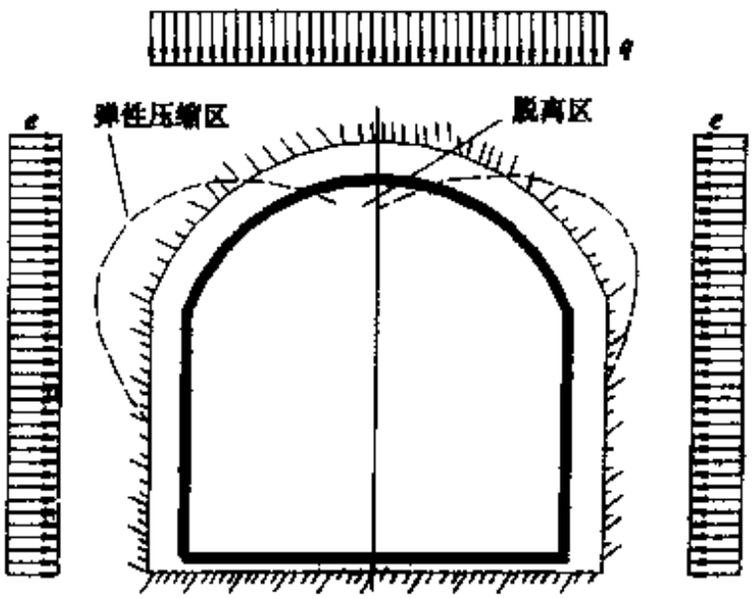


图 6-21

抗力。在实际施工中，拱圈上部间隙一般很难做到回填密实，因而拱圈弹性抗力区范围一般不大。弹性抗力的分布规律及大小与多种因素有关。由于拱圈是弹性地基上的曲梁，尤其是曲梁刚度改变时，其计算非常复杂，因而仍用假定抗力分布图形法。直墙式衬砌拱圈变形与曲墙式衬砌拱圈变形近似，计算时可用曲墙式衬砌关于拱部抗力图形的假定，认为按二次抛物线形状分布。上零点 φ_h 位于 45°～55°之间，最大抗力 σ_h 在直边墙的顶面（拱脚）c 处，b、c 间任一点 i 处的抗力为 φ_i 的函数，即式(6-45)。当 $\varphi_h = 45°$，$\varphi_h = 90°$时，可以简化为：

$$\sigma_i = (1 - 2\cos^2\varphi_i)\sigma_h \tag{6-60}$$

弹性抗力引起的摩擦力，可由弹性抗力乘摩擦系数 μ 求得，但通常可以忽略不计。弹性抗力 σ_i（或 σ_h）为未知数，但可根据温克尔假定建立变形条件，增加一个 $\sigma_i = k\delta_h$ 的方程式。

(2)边墙的计算

由于拱脚不是直接支承在围岩上，而是支承在直边墙上，所以直墙式衬砌的拱圈计算中的拱脚位移，需要考虑边墙变位的影响。直边墙的变形和受力状况与弹性地基梁相类似，可以作为弹性地基上的直梁计算。墙顶（拱脚）变位与弹性地基梁（边墙）的弹性特征值及换算长度 αh 有关，按 αh 可以分为下述三种情况。

①边墙为短梁($1 < \alpha h < 2.75$)

短梁的一端受力及变形对另一端有影响，计算墙顶变位时，要考虑到墙脚的受力和变形的影响。设直边墙（弹性地基梁）c 端作用有拱脚传来的力矩 M_c、水平力 H_c、垂直力 V_c 以及作用于墙身的按梯形分布的主动侧压力。求墙顶所产生的转角 β_{cp}^0 及水平位移 u_{cp}^0，然后即可按前述方法求出拱圈的内力及位移。由于垂直力 V_c 对墙变位仅在有基底加宽时才产生影响，而目前直墙式衬砌的边墙基底一般均不加宽，所以不需考虑。根据弹性地基上直梁的计算公式可以求得边墙任一截面的位移 y、转角 θ、弯矩 M 和剪力

H,再结合墙底的弹性固定条件,得到墙底的位移和转角。这样就可以求得墙顶的单位变位和荷载(包括围岩压力及抗力)变位。由于短梁一端荷载对另一端的变形有影响,墙脚的弹性固定状况对墙顶变形必然有影响,所以计算公式的推导是复杂的,下面仅给出结果,参见图 6-22。

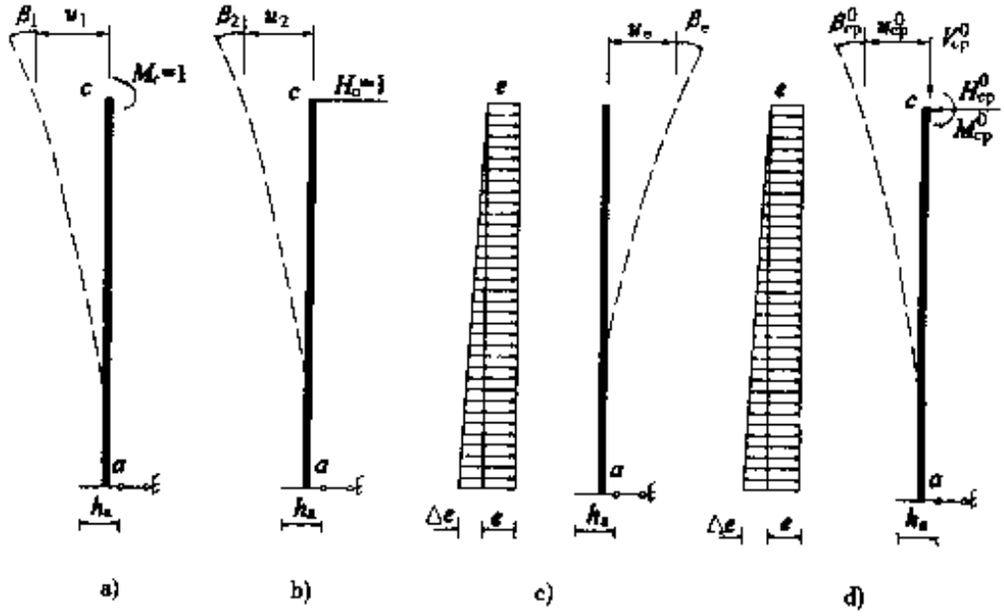


图 6-22

墙顶在单位弯矩 $\bar{M}_c = 1$ 单独作用下,墙顶的转角 $\bar{\beta}_1$ 和水平位移 $\bar{u}_1$ 为:

$$\begin{cases} \bar{\beta}_1 = \dfrac{4\alpha^3}{c}(\varphi_{11} + \varphi_{12}A) \\ \bar{u}_1 = \dfrac{2\alpha^2}{c}(\varphi_{13} + \varphi_{11}A) \end{cases} \tag{6-61}$$

墙顶在单位水平力 $H_c = 1$ 单独作用下,墙顶位移 $\bar{\beta}_2$ 和 $\bar{u}_2$ 为:

$$\begin{cases} \bar{\beta}_2 = \bar{u}_1 = \dfrac{2\alpha^2}{c}(\varphi_{13} + \varphi_{12}A) \\ \bar{u}_2 = \dfrac{2\alpha}{c}(\varphi_{10} + \varphi_{13}A) \end{cases} \tag{6-62}$$

在主动侧压力(梯形荷载)作用下,墙顶位移 β_e、u_e 为:

$$\begin{cases}\beta_e = -\dfrac{\alpha}{c}(\varphi_4 + \varphi_3 A)e - \dfrac{\alpha}{c}\left[\left(\varphi_4 - \dfrac{\varphi_{14}}{\alpha h}\right) + \left(\varphi_3 - \dfrac{\varphi_{10}}{\alpha h}\right)A\right]\Delta e \\ u_e = -\dfrac{1}{c}(\varphi_{14} + \varphi_{15}A)e - \dfrac{1}{c}\left(\dfrac{\varphi_2}{2\alpha h} - \varphi_1 + \dfrac{\varphi_4}{2}A\right)\Delta e\end{cases} \tag{6-63}$$

式中：$\alpha = \sqrt[4]{\dfrac{\overline{k}}{4EJ}}$；$A = \dfrac{k\beta_a}{2\alpha^3} = \dfrac{6}{nh_a^3\alpha^3}$；$n = \dfrac{k_0}{k}$；$c = (\varphi_9 + \varphi_{10}A)$；

k_0——基底弹性抗力系数；

k——侧向弹性抗力系数；

β_a——基底作用有单位力矩时产生的转角，$\beta_a = 1/k_0$；

h——边墙的侧面高度。在边墙顶 $x = 0$，在墙底 $x = h$。

$$\varphi_1 = \mathrm{ch}\alpha x\cos\alpha x;\ \varphi_2 = \mathrm{ch}\alpha x\sin\alpha x + \mathrm{sh}\alpha x\cos\alpha x$$

$$\varphi_3 = \mathrm{sh}\alpha x\sin\alpha x;\ \varphi_4 = \mathrm{ch}\alpha x\sin\alpha x - \mathrm{sh}\alpha x\cos\alpha x$$

$$\varphi_5 = (\mathrm{ch}\alpha x - \mathrm{sh}\alpha x)(\cos\alpha x - \sin\alpha x);\ \varphi_6 = \cos\alpha x(\mathrm{ch}\alpha x - \mathrm{sh}\alpha x)$$

$$\varphi_7 = (\mathrm{ch}\alpha x - \mathrm{sh}\alpha x)(\cos\alpha x + \sin\alpha x);\ \varphi_8 = \sin\alpha x(\mathrm{ch}\alpha x - \mathrm{sh}\alpha x)$$

$$\varphi_9 = \frac{1}{2}(\mathrm{ch}^2\alpha x + \cos^2\alpha x);\ \varphi_{10} = \frac{1}{2}(\mathrm{sh}\alpha x\mathrm{ch}\alpha x - \sin\alpha x\cos\alpha x)$$

$$\varphi_{11} = \frac{1}{2}(\mathrm{sh}\alpha x\mathrm{ch}\alpha x + \sin\alpha x\cos\alpha x);\ \varphi_{12} = \frac{1}{2}(\mathrm{ch}^2\alpha x - \cos^2\alpha x)$$

$$\varphi_{13} = \frac{1}{2}(\mathrm{ch}^2\alpha x + \sin^2\alpha x);\ \varphi_{14} = \frac{1}{2}(\mathrm{ch}\alpha x - \cos\alpha x)^2$$

$$\varphi_{15} = \frac{1}{2}(\mathrm{sh}\alpha x + \sin\alpha x)(\mathrm{ch}\alpha x - \cos\alpha x)$$

墙顶单位变位求出后，由基本结构传来的拱部外荷载，包括主动荷载及被动荷载使墙顶产生的转角及水平位移不难求出。当基础无展宽时，墙顶位移为：

$$\begin{cases}\beta_{cp}^0 = M_{cp}^0\bar{\beta}_1 + H_{cp}^0\bar{\beta}_2 + e\bar{\beta}_e \\ u_{cp}^0 = M_{cp}^0 u_1 + H_{cp}^0\bar{u}_2 + e\bar{u}_e\end{cases} \tag{6-64}$$

墙顶截面的弯矩 M_c、水平力 H_c、转角 β_c 和水平位移 u_c 为：

$$\begin{cases} M_c = M_{cp}^0 + X_1 + X_2 f \\ H_c = H_{cp}^0 + X_2 \\ \beta_c = X_1\bar{\beta}_1 + X_2(\bar{\beta}_2 + f\bar{\beta}_1) + \beta_{cp}^0 \\ u_c = X_1\bar{u}_1 + X_2(\bar{u}_2 + f\bar{u}_1) + u_{cp}^0 \end{cases} \tag{6-65}$$

以 M_c、H_c、β_c 及 u_c 为初参数，即可由初参数方程求得距墙顶为 x 的任一截面的内力和位移。若边墙上无侧压力作用，即 $e=0$ 时，则：

$$\begin{cases} M = -u_c\dfrac{k}{2\alpha^2}\varphi_3 + \beta_c\dfrac{k}{4\alpha^3}\varphi_4 + M_c\varphi_1 + H_c\dfrac{1}{2\alpha}\varphi_2 \\ H = -u_c\dfrac{k}{2\alpha}\varphi_2 + \beta_c\dfrac{k}{2\alpha^2}\varphi_3 - M_c\alpha\varphi_4 + H_c\varphi_1 \\ \beta = u_c\alpha\varphi_4 + \beta_c\varphi_1 - M_c\dfrac{2\alpha^3}{k}\varphi_2 - H_c\dfrac{2\alpha^2}{k}\varphi_3 \\ u = u_c\varphi_1 - \beta_c\dfrac{1}{2\alpha}\varphi_2 + M_c\dfrac{2\alpha^2}{k}\varphi_3 + H_c\dfrac{\alpha}{k}\varphi_4 \end{cases} \tag{6-66}$$

②墙边为长梁($\alpha h \geqslant 2.75$)

换算长度 $\alpha h \geqslant 2.75$ 时，可将边墙视为弹性地基上的半无限长梁(简称长梁)或柔性梁，近似为 $\alpha h = \infty$。此时边墙具有柔性，可认为墙顶的受力(除垂直力外)和变形对墙底没有影响。这种衬砌应用于较好围岩中，不考虑水平围岩压力作用。由于墙底的固定情况对墙顶的位移没有影响，故墙顶单位位移可以简化为：

$$\begin{cases} \bar{\beta}_1 = \dfrac{4\alpha^3}{k} \\ \bar{u}_1 = \bar{\beta}_2 = \dfrac{2\alpha^2}{k} \\ \bar{u}_2 = \dfrac{2\alpha}{k} \\ \bar{\beta}_c = -\dfrac{\alpha}{c}(\varphi_4 + \varphi_3 A) \\ u_c = -\dfrac{1}{c}(\varphi_{14} + \varphi_{15} A) \end{cases} \tag{6-67}$$

③边墙为刚性梁($\alpha h \leqslant 1$)

换算长度 $\alpha h \leqslant 1$ 时，可近似作为弹性地基上的绝对刚性梁，近似认为 $\alpha h = 0$（即 $EJ = \infty$）。认为边墙本身不产生弹性变形，在外力作用下只产生刚体位移，即只产生整体下沉或转动。由于墙底摩擦力很大，所以不产生水平位移。当边墙向围岩方向位移时，围岩将对边墙产生弹性抗力，墙底处为零，墙顶处为最大值 σ_h，中间呈直线分布。墙底面的抗力按梯形分布，如图 6-23。

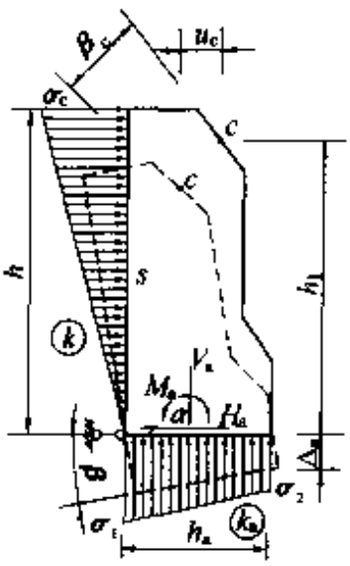


图 6-23　边墙受力

由静力平衡条件，对墙底中点 a 取矩，可得：

$$M_a - \left[\frac{\sigma_h h^2}{3} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)h_a^2}{12} + \frac{sh_a}{2}\right] = 0 \qquad (6\text{-}68)$$

式中：$s = \mu\sigma_h h/2$——边墙外缘由围岩弹性抗力所产生的摩擦力；

μ——衬砌与围岩间的摩擦系数；

σ_1、σ_2——墙底两边沿的弹性应力。

由于边墙为刚性，故底面和侧面均有同一转角 β，二者应相等。所以

$$\beta = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{k_a h_a} = \frac{\sigma_h}{kh} \qquad (6\text{-}69)$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = n\sigma_h \frac{h_a}{h} \qquad (6\text{-}70)$$

式中：$n = k_a/k$，对同一围岩，因基底受压面积小，压缩得较密实，可取为 1.25。将式(6-70)代入式(6-68)得：

$$\sigma_h = \frac{12M_a h}{4h^3 nh_a^3 + 3\mu h_a h^2} = \frac{M_a h}{J'_a} \qquad (6\text{-}71)$$

式中：$J'_a = \dfrac{4h^3 nh_a^3 + 3\mu h_a h^2}{12}$ 称为刚性墙的综合转动惯量，因面墙侧面的转角为：

$$\beta = \frac{\sigma_h}{kh} = \frac{M_a}{kJ'_a} \qquad (6\text{-}72)$$

由此可求出墙顶(拱脚)处的单位位移及荷载位移。$M_c=1$ 作用于 c 点时,则 $M_a=1$,故:

$$\begin{cases}\bar{\beta}_1 = \dfrac{1}{kJ'_a} \\ \bar{u}_1 = \bar{\beta}_1 h_1 = \dfrac{h_1}{kJ'_a}\end{cases} \tag{6-73}$$

式中:h_1 是自墙底至拱脚 c 点的垂直距离。

H_c 作用于 c 点时,则 $M_a = h_1$,故:

$$\begin{cases}\bar{\beta}_2 = \dfrac{h_1}{kJ'_a} = \bar{\beta}_1 h_1 \\ \bar{u}_2 = \bar{\beta}_2 h_1 = \dfrac{h_1^2}{kJ'_a} = \bar{\beta}_1 h_1^2\end{cases} \tag{6-74}$$

主动荷载作用于基本机构时,则 $M_a = M_{ap}^0$,故:

$$\begin{cases}\beta_{cp}^0 = \dfrac{M_{ap}^0}{kJ'_a} = \bar{\beta}_1 M_{ap}^0 \\ u_{ap}^0 = \beta_{cp}^0 h_1 = \dfrac{M_{ap}^0 h_1}{kJ'_a}\end{cases} \tag{6-75}$$

由此不难进一步求出拱顶的多余未知力和拱脚(墙顶)处的内力,以及边墙任一截面的内力。

78.如何进行衬砌结构截面强度的校核验算?

答:为了保证衬砌结构强度的安全性,需要在算出结构内力之后进行强度检算。目前我国公路隧道设计规范规定,隧道衬砌和明洞按破坏阶段检算构件截面强度。即根据混凝土和石砌材料的极限强度,计算出偏心受压构件的极限承载能力,与构件实际内力相比较,计算截面的抗压(或抗拉)强度安全系数 K。检查是否满足规范所要求的数值,即:

$$K = \frac{N_{jx}}{N} \geqslant K_{gf} \tag{6-76}$$

式中:N_{jx}——截面的极限承载能力;

N——截面的实际内力(轴向力)；

K_g——规范所规定的强度安全系数，见表 6-7 和表 6-8。

混凝土和砌体结构的强度安全系数 表 6-7

圬工种类	混凝土		砌体	
荷载组合	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其它可变荷载	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其它可变荷载
混凝土或砌体达到抗压极限强度	2.4	2.0	2.7	2.3
混凝土达到抗拉极限强度	3.6	3.0		

钢筋混凝土构件的强度安全系数 表 6-8

荷载组合	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其它可变荷载
钢筋达到设计强度或混凝土达到抗压或抗剪极限强度	2.0	1.7
混凝土达到抗拉极限强度	2.4	2.0

衬砌的任一截面均应满足强度安全系数要求，否则必须修改衬砌形状和尺寸，重新计算，直到满足要求为止。

对混凝土和石砌矩形截面构件，当偏心距 $e_0 \leqslant 0.2d$ 时，按抗压强度控制承载能力，并用下式计算：

$$KN \leqslant \varphi \alpha R_a bd \tag{6-77}$$

式中：K——混凝土或石砌结构强度安全系数；

N——轴向力；

b——截面宽度；

d——截面厚度；

φ——构件的纵向弯曲系数，对于隧道衬砌、明洞拱圈及墙背紧密回填的明洞边墙，可取 $\varphi = 1$，其它构件见规范；

α——轴向力的偏心影响系数，可查规范或按 $\alpha = 1 - 1.5e/d$ 求得；

R_a——混凝土或石砌体的抗压极限强度。

从抗裂角度要求，混凝土矩形截面偏心受压构件，当 $e_0 > 0.2d$时，按抗拉强度控制承载能力，并用下式计算：

$$KN \leqslant \varphi \frac{1.75R_l bd}{6e_0/d - 1} \tag{6-78}$$

式中：R_l——抗拉极限强度。

规范对公路隧道衬砌和明洞的混凝土偏心受压构件的轴向力偏心距限制为：不宜大于0.45倍截面厚度；石料砌体偏心受压构件不宜大0.3倍截面厚度。基底偏心距的限制为：岩石地基不应大于0.25墙底厚度；土质地基不应大于1/6墙底厚度。

公路隧道衬砌和明洞的基底应力不得大于地基容许承载力。隧道衬砌地基容许承载力可根据围岩类别用工程类比和经验估算的方法加以确定，有条件的可进行现场实验。

拱脚截面的混凝土为间隙灌注或拱圈为混凝土而边墙用石砌时，按式(6-77)进行验算等，其偏心距按石砌构件要求加以限制。

79.如何计算整体式衬砌计算构件的截面强度？

答：整体式衬砌应按破坏阶段计算构件截面强度。计算时，应根据不同的荷载组合，分别采用不同的安全系数，并不应小于表6-7和表6-8所列数值。验算施工阶段强度时，安全系数可采用表6-7和表6-8“永久荷载＋基本可变荷载＋其它可变荷载”栏内数值乘以折减系数0.9。

80.如何计算整体式衬砌弹性抗力？

答：计算整体式衬砌内力时，应考虑围岩对衬砌变形的约束作用；如弹性抗力等。弹性抗力的大小及分布，可根据衬砌在荷载作用下的变形、回填情况和围岩的变形性质等因素，采用局部变形理论，按式(6-79)计算确定：

$$\sigma = K\delta \tag{6-79}$$

式中：σ——弹性抗力强度(MPa)；

K——围岩弹性抗力系数；

δ——衬砌向围岩的变形值(m)。

81.锚喷衬砌和复合式衬砌的初期支护设计计算方法如何？其初期支护的允许洞周水平相对收敛值如何选取？

答：计算锚喷衬砌和复合式衬砌的初期支护可采用弹塑性数值解法或近似解析法进行计算，并结合工程类比法和监控量测进行修正。

计算复合式衬砌时，初期支护应按主要承载结构计算。二次衬砌，在Ⅳ类及以上围岩可作为安全储备，按构造要求设计；在Ⅲ类及以下围岩，应按承载结构设计。

锚喷衬砌和复合式衬砌初期支护的允许洞周水平相对收敛值，应根据围岩地质条件等因素和现场量测结果分析确定，也可按表6-9选用。

允许洞周水平相对收敛值(%)　　表6-9

围岩类型	埋　深(m)		
	<50	50~300	301~500
Ⅳ	0.1~0.3	0.2~0.5	0.4~1.2
Ⅲ	0.15~0.5	0.4~1.2	0.8~2.0
Ⅱ	0.2~0.8	0.6~1.6	1.0~3.0

注：①水平相对收敛值系指实测收敛与两测点间距离之比；

②硬质围岩的隧道取表中较小值，软质围岩的隧道取表中较大值；

③本表所列数值，可在施工过程中通过实测和资料积累作适当修正；

④拱顶下沉允许值，一般按本表数值的0.5~1.0倍采用。

82.公路隧道结构设计中，对于刚架和截面厚度大的超静定结构，如何进行温度计算？

答：受温度影响显著的刚架和截面厚度大的超静定结构，应考虑温度变化和混凝土收缩的影响。

(1)隧道衬砌各部构件受温度变化影响产生的变形值，应根据当地温度情况与施工条件所确定的温度变化值等按下式计算：

$$\Delta l = l \cdot \Delta t \cdot \alpha \tag{6-80}$$

式中：Δl——温度变化引起的变形值(m)；

l——构件的计算长度(m)；

Δt——温度变化值(℃)；

α——材料的线膨胀系数，钢筋混凝土和混凝土的线膨胀系数采用 1.0×10^{-5}。

(2)混凝土收缩的影响，可作为温度的降低来考虑，对于整体浇筑的混凝土结构相当于降低温度 20℃；对于整体浇筑的钢筋混凝土结构相当于降低温度 15℃；对于分段浇筑的混凝土或钢筋混凝土结构相当于降低温度 10℃；对于装配式钢筋混凝土结构相当于降低温度 5～10℃。

(3)计算超静定拱圈温度应力和混凝土收缩应力时，混凝土徐变的影响可分别采用混凝土弹性模量的 0.70 和 0.45 倍，仍按弹性体系进行计算。

83.公路隧道钢筋混凝土受弯和受压偏心构件的截面最小配筋率如何选取?

答：钢筋混凝土受弯和偏心受压构件的截面最小配筋率(仅计受拉区钢筋)应符合表 6-10 规定。

钢筋最小配筋率(%) 表 6-10

钢筋种类	混凝土标号			
	15	20	25～40	50
Q235 级钢筋	0.10	0.15	0.20	0.25
20MnSi 钢筋	0.10	0.10	0.15	0.20

84.如何计算明洞衬砌构件的截面强度？当墙背围岩对边墙变形有约束作用时，如何考虑弹性抗力的影响？

答：(1)明洞衬砌应按破坏阶段计算构件截面强度，根据不同荷载组合，可采用表6-7和表6-8所列的安全系数值；

(2)当墙背围岩对边墙变形有约束作用时，应按本节问题80考虑弹性抗力的影响。

85.如何进行公路隧道(包括明洞)洞门设计计算？钢筋混凝土洞门截面的最小配筋率如何选取？

答：(1)洞门(包括隧道门和明洞门)可视作挡土墙，按极限状态计算其强度，并应验算绕墙趾倾覆及沿基底滑动的稳定，验算时应符合表6-11的规定，且应符合交通部颁发的《公路路基设计规范》(JTJ 013—95)、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)的有关规定；

洞门墙主要验算规定 表6-11

墙身截面荷载效应值 S_d	≤结构抗力效应值 R_d (按极限状态计算)
墙身截面偏心矩 e	≤0.3倍截面厚度
基底应力 σ	≤地基容许承载力
基底偏心矩 e	岩石地基≤$B/4 \sim B/5$　土质地基≤$B/6$(B为墙底厚度)
滑动稳定系数 K_c	≥1.3
倾覆稳定系数 K_0	≥1.5

(2)对于高洞门墙(包括洞口路堑高挡土墙)，为避免拉应力过大，设计时尚应适当控制截面拉应力；

(3)洞门设计计算多数应按现场试验资料采用。当缺乏试验资料时，可采用表6-12所列数值；

(4)钢筋混凝土洞门的截面最小配筋率应符合表6-10的规定。

洞门设计计算参数　　表 6-12

仰坡坡度	计算摩擦角 ϕ (°)	容重 γ (kN/m³)	基底摩擦系数 f	基底控制压应力 (MPa)
1:0.5	70	25	0.6	0.8
1:0.75	60	24	0.5	0.6
1:1	50	20	0.4	0.40~0.35
1:0.25	43~45	18	0.4	0.30~0.25
1:1.5	38~40	17	0.35~0.40	0.25

86.承载的隧道建筑物各部结构截面的最小厚度度该如何选取?

答:承载的隧道建筑物各部结构截面的最小厚度要综合考虑各种材料施工要求,使施工质量得以保证,其取值方法按表 6-13 进行。辅助坑道需要衬砌时,其截面厚度应符合表 6-13 规定。

截面最小厚度(cm)　　表 6-13

建筑材料种类	隧道和明洞衬砌			洞门端墙、翼墙和洞门挡土墙
	拱圈	边墙	仰拱	
混凝土	20	20	20	30
片石混凝土		50	50	50
浆砌粗料石或混凝土块	30	30		30
浆砌块石		30		30
浆砌片石		50		50

87.锚喷衬砌及复合式衬砌初期支护设计参数如何选取?

答:锚喷支护有关设计参数是按国标《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)拟定的。

喷射混凝土的厚度,是考虑混凝土收缩较大,层厚小于 5cm 时,石子含量少,更易引起收缩开裂。同时,过薄的喷层控制围岩变形或抵抗可能发生滑移的能力低,因此常出现局部开裂或剥落现象。近年对锚喷支护现状进行调查的结果表明,喷层出现局部

开裂或剥落的，绝大多数厚度在 2cm 左右。由于施工时喷射厚度较难准确掌握，故希望层厚不小于 5cm。

喷射混凝土厚度也不宜过大，一般不要超过 20cm，若喷层过厚（特别是在紧跟开挖，一次施工很厚的情况下），会因刚度过大，对围岩变形约束过强，而使喷层招来较大的形变压力。如果认为采用薄层喷射混凝土支护把握不大，可以采用加设锚杆或调整锚杆参数来加强。一味采用加大喷层厚度的方法来提高支护的可靠性，则既不经济又达不到预期的安全要求。

采用钢架时，可选用 H 型钢、II 型钢、钢管或钢筋弯制成的花拱钢架以及用其它轻型钢材制作的各种型式钢架，其背面向着围岩，必须利于喷射混凝土充填，同时要求钢架的混凝土保护层不少于 4cm。

关于锚杆长度，通过国内地下工程 112 个工程实例统计，在不同围岩类别和不同跨度，一般为 1.5～3.5m，适合公路单车道，双车道隧道。

锚杆间距主要指系统锚杆的间距。根据工程经验，为使一定深度的围岩形成承载拱，锚杆长度必须大于间距的两倍，因此规定系统锚杆间距不宜大于其长度的 1/2。但锚杆长度超过 2.5m 时，不宜按上述规定办理。因为锚杆间距太大，锚杆间的岩石可能失去必要的咬合和联锁，所以一般规定锚杆间距不大于 1.25m。参数的具体取值方法见表 6-14 与表 6-15。

锚喷衬砌的设计参数 表 6-14

围岩类别	单 车 道	双 车 道
VI	喷射混凝土厚度 6cm	喷射混凝土厚度 6～10cm；必要时设置锚杆，锚杆长1.5～2.0m；间距 1.2～1.5m
V	喷射混凝土厚度 6～10cm；必要时设置锚杆，锚杆长 1.5～2.0m；间距 1.2～1.5m	喷射混凝土厚度 8～12cm；设置锚杆长度 2.0～2.5m；间距 1.2m；必要时配置局部钢筋网
IV	喷射混凝土厚度 8～12cm；设置锚杆长度 2.0～2.5m；间距 1～1.2m；必要时配置钢筋网	喷射混凝土厚度 10～15cm；设置锚杆长度 2.5～3.0m；间距 1m；配置钢筋网

注：①III类以下围岩采用喷锚砌时，设计参数应通过实验确定；

②边墙喷射混凝土的厚度可取表列参数的下限值，如边墙围岩稳定，可不设置锚杆和钢筋网；

③配置钢筋网的网格间距一般为15～30cm，钢筋网保护层不小于2cm。

复合式衬砌初期支护的设计参数 表6-15

围岩类别	单车道	双车道
IV	喷射混凝土厚度5～10cm；设置锚杆长度2.0m；间距1～1.2m；必要时局部设置钢筋网	喷射混凝土厚度10～15cm；锚杆长度2.5m；间距1～1.2m；必要时配置钢筋网
III	喷射混凝土厚度10～15cm；锚杆长度2～2.5m；间距1m；必要时配置钢筋网	喷射混凝土厚度15cm；锚杆长度2.5～3.0m；间距1m；设置钢筋网
II	喷射混凝土厚度15cm；锚杆长度2.5m；间距0.8～1.0m；设置钢筋网，应施作仰拱	喷射混凝土厚度20cm；锚杆长度3.0～3.5m；间距0.8～1.0m；必要时设置钢架，应施作仰拱
I	喷射混凝土厚度20cm；锚杆长度3.0m；间距0.6～0.8m；设置钢筋网，必要时设置钢架，应施作仰拱	通过实验确定

注：采用钢架时，宜选用轻型钢材制作，钢架外喷射混凝土保护层不小于4cm。

88. 钢筋混凝土构件中受力钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合什么规定？

答：公路隧道建筑结构多与围岩（或土壤）直接接触，其所处的环境不同于一般地面结构，加之施工条件差，质量不易保证，如混凝土保护层薄，由于绑扎钢筋的误差，将不能起到保护钢筋免遭锈蚀的作用。尤其汽车排放出的油烟等易沿衬砌裂纹侵入，故其混凝土保护层厚度就较地面钢筋混凝土结构规定略大。

混凝土保护层最小厚度是根据铁路隧道经验和《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2002）9.2章节的规定拟定的。

考虑到明洞一般多系洞口接长明洞，即使独立明洞，长度也不

会很长，行驶汽车时受油烟中有侵蚀性介质的影响不大，故可采用非侵蚀性环境栏内数值。

对于不与围岩(或土壤)直接接触的钢筋混凝土构件，其保护层厚度可按表 6-16 的规定值适当减小。

钢筋混凝土构件中的钢筋构造要求可参照现行的国标《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2002)等规定执行。

混凝土保护层最小厚度 表 6-16

构件厚度 (cm)	保护层最小厚度(cm)	
	非侵蚀性环境	侵蚀性环境
< 15	1	1.5
15 ~ 30	3	1.5
31 ~ 50	3.5	4
> 50	4	5

注：①隧道衬砌用侵蚀性环境栏内数值；

②明洞和洞门均可用非侵蚀性环境内数值。

第七章　公路隧道的防水与排水

89.公路隧道防排水设计的基本原则是什么?

答:公路隧道防排水设计的基本原则如下:

(1)隧道应结合衬砌采取可靠的防排水措施,保证使用期内行车安全、设备正常使用;

(2)隧道防排水应视水文地质条件因地制宜地采取"以排为主,防、排、截、堵相结合"的综合治理原则,达到排水通畅、防水可靠、经济合理、不留后患的目的;

(3)对地表水、地下水应采取妥善的处理措施,使洞内外形成一个完整的畅通的防排水系统。

一般公路隧道应做到:

①拱部不滴水、边墙不滴水;

②路面不冒水、不积水、设备箱洞处不渗水;

③冻害地区隧道衬砌背后不积水,排水沟不冻结;

④汽车专用公路隧道则应达到拱部、墙部及设备箱洞处均不渗水。

90.公路隧道防排水设计的基本措施是什么?

答:水不仅是影响公路隧道正常施工的因素之一,也是影响隧道正常运营的重要因素之一。在施工期间,地下水的作用不仅降低围岩的稳定性(尤其是对软弱破碎围岩影响更为严重),增加开挖难度,且增加了支护的难度和费用,甚至需采取超前支护或预注浆堵水和加固围岩。此外,若对地下水处理不当,则可能造成更大的危害。如地下、地上水位下降及水环境的改变,影响农业生产和

生活用水，或被迫停工、影响工程进展等。

在运营期间，地下水常从混凝土衬砌的施工缝、变形缝（伸缩缝和沉降缝）、裂缝甚至混凝土孔隙等通道渗漏进隧道中，造成洞内通信、供电、照明等设备处于潮湿环境而发生锈蚀，使路面积水或结冰，造成打滑，危及行车安全。由于结冰膨胀和侵蚀性地下水的作用，不仅使衬砌受到破坏，而且使得以上危害更加严重。总之，公路隧道工程中，地下水的存在是必然的，但它对工程的危害却是可以避免和减少的。

为避免和减少水的危害，我国隧道工作者已总结出“截、堵、排相结合”的综合治水原则，并以模筑混凝土衬砌作为防水（堵水）的基本措施。

①截，就是在隧道以外将地表水和地下水疏导截流，使之不能进入隧道工程范围内；

②堵，就是以衬砌混凝土为基本防水层，以其它防水材料为辅助防水层，阻隔地下水，使之不能进入隧道内的防水措施。必要时还可以采用注浆堵水措施。堵水措施可以较好地保护地下水环境；

③排，就是人为设置排水系统，将地下水排出隧道；

④结合，就是因地制宜，综合考虑，适当选择治水方案，做到技术可行，费用经济，效果良好，保护环境。这要根据围岩的工程地质条件，地下水的水量大小及埋藏和补给条件，工程结构的设计使用要求，施工技术水平及环境保护要求等情况来选择确定。结合的又一层含义是设计、施工、维修相结合，但以施工为主，充分结合现场实际，实行点面结合，将大面积渗漏水汇集为局部出水，进行有组织排水。应尽可能在施工中就将水治理好，保护地下及地表水的自然环境，减少对水环境的破坏并尽量恢复其自然环境。下面根据以上原则，介绍治水的常用方法与措施。

(1)截水措施

截水措施有：在地表水上游设截水导流沟，地下水上游设泄水洞或洞外井点降水。截水导流沟和泄水洞完成后即可自行永久发挥作用，而洞外井点降水，则需用水泵抽水，因此，它只能解决浅埋

隧道在施工期间的降水问题。当隧道埋深较大时，可在洞内设井点降水，以解决洞内局部区段的降水问题。此外辅助坑道中的平行导坑、横洞、斜井、竖井均可以作为泄水洞。

(2)堵水措施

常用的堵水措施有：喷射混凝土堵水，塑料板堵水，混凝土衬砌堵水。当水量大、压力大时则可采取注浆堵水，注浆既可以堵水也可以起到加固围岩的作用。

应当注意的是，绝对堵死地下水是很困难的，因此要求在设计和施作堵水设施时，就要充分考虑到排水，做到堵排结合，边排边堵。

①喷射混凝土堵水

当围岩有大面积裂隙渗水，且水量、压力较小时，可结合初期支护采用喷射混凝土堵水。但应注意此时需加大速凝剂用量，进行连续喷射，且在主裂隙处不喷射混凝土，使水流能集中于主裂隙流入盲沟，通过盲沟排出。

②塑料板堵水

当围岩有大面积裂隙滴水、流水，且水量压力不太大时，可于喷射混凝土等初期支护施作完毕后，二次支护施作前，在岩壁大面积铺设塑料板堵水。

塑料板防水层是近十多年国际上发展起来的一项防水新技术，它具有优良的防水，耐腐蚀性能，在隧道及地下工程中得到了日益广泛的应用。

塑料板铺设固定时不能绷得太紧，要预留一定的松弛度，使得在灌筑二次支护混凝土时，塑料板能向凹处变形、服贴，不产生过度张拉和破坏。

③模筑混凝土衬砌堵水

模筑混凝土本身就具有一定的抗渗阻水性能，但普通混凝土的抗渗性较差，尤其是在施工质量不高的情况下，如振捣不密实，施工缝、沉降缝、伸缩缝处理不好，配比不当等，则更易形成水的渗漏、漫流。当地下水有侵蚀性时，对混凝土的腐蚀就更为严重。

如果能保证混凝土衬砌的抗渗防水性能，则不需要另外增加其它防水堵水措施。因此，充分利用混凝土衬砌的防水性能，是经济合算的和最基本的防水措施。

在工程中，改善和利用混凝土衬砌的抗渗防水性能，可以从两个方面来考虑：

a.防水混凝土的抗渗标号及抗压强度应满足设计要求。其配合比选择应注意以下几点：水灰比不得大于0.6；水泥用量不得少于280kg/m^3；砂率应适当提高，并不得低于35%。

b.防水混凝土衬砌施工必须采用机械振捣。施工缝、沉降缝及伸缩缝则可以采用中埋式塑料或橡胶止水带，或采用背贴塑料止水带止水。

④注浆堵水

注浆在加固围岩的同时，实际上也起到了堵水作用。由此看来，一种方法或措施，其效用有时是多方面的。因此，在隧道施工工序安排和方法(措施)选择时，一定要充分考虑到它们彼此之间的相互关系和相互影响。

此外，若二次支护因混凝土质量欠佳面产生渗漏，则可以对其进行结构注浆堵水。

在地下水较丰富的地区，衬砌接缝处常用止水带防水。其类型很多，如金属(铜片)止水带、聚氯乙烯止水带以及橡胶止水带等，金属止水带已经很少使用了，聚氯乙烯止水带的弹性较差，只能用于相对变形较小的场所，橡胶止水带则可用于变形幅度较大的场合。在水底隧道中，20世纪50年代以后广泛使用钢边止水带，它是在两侧镶有0.6~0.7mm厚的钢片翼缘的一种橡胶止水带，刚度较高，便于安装。

(3)排水措施

排水是利用盲沟、泄水管、渡槽、中心排水沟或排水侧沟等，将水排出洞外。盲沟可用片石或卵石干砌面成的厚30~40cm与宽100~150cm的排水通道。盲沟可以根据需要砌至拱脚或砌至边墙底部，然后用泄水管将水引入隧道的排水沟内。盲沟间距应因

地制宜的设置。渡槽是在衬砌内表面设置的环向槽，其尺寸按水量大小确定，其间距一般应与筑拱环节长度配合，施工缝往往是漏水最多的位置。

公路隧道内的排水一般均采用排水沟方式，类型主要有中心排水沟和路侧排水沟，在严寒地区应设置防冻水沟。排水沟断面可为矩形或圆形，通常为矩形，并便于清理和检查，过水面积应根据水量大小确定。沿纵向在适当间隔处应设置检查坑和汇水坑，但不应设在车道中心。

①盲沟

盲沟的作用是在衬砌与围岩之间提供过水通道，并使之汇入泄水孔。它主要用于引导较为集中的局部渗流水。

我国较为传统的盲沟有灌砂木盆、灌砂竹筒。因其加工、安装均较麻烦，且接头处易被混凝土阻塞，因此，现在逐步被新型柔性盲沟所替代。

柔性盲沟通常由工厂加工制造。它具有现场安装方便，布置灵活，连接容易，接头不易被混凝土阻塞，过水效果良好，成本也不太高等优点。其构造形式有以下几种：

a.弹簧软管盲沟：这种盲沟一般是采用10号铁丝缠成直径5～8cm的圆柱形弹簧或采用硬质又具有弹性的塑料丝缠成半圆形弹簧，或带孔塑料管，以此作为过水通道的骨架，安装时外覆塑料薄膜和铁窗纱，从渗流水处开始沿环向铺设并接入泄水孔；

b.化学纤维渗滤布盲沟：这种盲沟是以结构疏松的化学纤维布作为水的渗流通道，其单面有塑料敷膜，安装时使敷膜朝向混凝土一面，可以阻止水泥浆渗入滤布，这种渗滤布式盲沟质量轻，便于安装和连续加垫焊接，宽度和厚度也可以根据渗排水量的大小进行调整。是一种较理想的渗水盲沟。

②排水沟

排水沟承接泄水孔泄出的水，并将其排出隧道。隧道纵向排水沟有单侧、双侧、中心式三种形式。它是根据线路坡度、路面形式、水量大小等因素确定的。洞外排水应根据地形、地质、气象情

况，结合农田水利情况全面规划，综合治理，因地制宜地设置流水、截水、引水设施。

③泄水孔

泄水孔是设于衬砌边墙下部的出水孔道，它将盲沟流来的水直接泄入隧道内的纵向排水沟。泄水孔的施作有两种方法：

a.在立边墙模板时，就安设泄水管，并特别注意使其里端与盲沟接通，外端穿过模板。泄水管可用钢管、竹管、塑料管、蜡封纸管等，这种方法主要用于水量较大时；

b.当水量较小时，则可以待模筑边墙混凝土拆模后，再根据记录的盲沟位置钻泄水孔。泄水孔的位置应按设计要求设置。

91.公路隧道防水的基本方法与措施是什么？

答：公路隧道防水的基本方法与措施如下：

(1)公路隧道首先要重视防止地表水的下渗，其措施为填平、铺砌、勾补、抹面等。对于坑穴、钻孔等均应填实封闭；

(2)围岩破碎、涌水易坍地段，宜直接向围岩内预压浆。当涌水量大时，应采用化学浆液。向衬砌背后压浆时，应防止因压浆而堵塞衬砌背后的排水设施；

(3)公路隧道衬砌防水，首先采取引排措施，然后敷设衬砌内、外防水层；也可修建复合式衬砌，采用夹层防水层；

(4)混凝土应满足抗渗要求，寒冷地区冻害地段和严寒地区所采用混凝土的抗渗标号不宜低于 S_6，其余地区不宜低于 S_4；

(5)施工缝、变形缝等处的防渗应采用专门的防水措施。

92.如何进行公路隧道洞内排水设计？

答：(1)《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)规定隧道最小纵坡为0.3%，这是为了排水的需要。洞内纵向排水沟坡度尽可能与隧道底坡度一致，避免加深或减小边沟深度，保持流水沟的正常断面。具体掌握一般不小于0.5%；困难地段隧道排水沟要铺砌，最小流水坡度不小于0.3%。在隧道路线纵坡变坡的分坡范围内，

由于是流水起始点，流水量一般不大，且分坡范围的距离一般不长，减小坡顶水沟深度可作为特殊情况处理。

规定路面横向最小排水坡 1.0%，路面下横沟最小排水坡 2.0%，是为了加快路面及横沟的横向排水速度，防止路面积水，避免隧底积水。

(2)由于公路隧道往往要设置人行道或 0.25m 以上的余宽及路缘带，公路隧道横向净宽一般都在 7.50m 以上，故一般宜设置双侧水沟。这样也有利于维修和交通安全。有仰拱的隧道或需要设置深埋水沟的隧道，为了避免过深的墙基深度和过低的仰拱底开挖标高，宜设置中心水沟。

如根据工程地质条件和水文状况设置单侧水沟时，可将单侧水沟设置在地下水来源的一侧，并是路面低侧，这样有利于汇集路面及围岩地下水。如经过技术经济比较，单侧水沟节省工程量不是很大时，仍采用双侧水沟方案。

进水口包括隧底进水孔的设置可密些(0.5 ~ 1.0m)；墙侧进水孔可间隔 5 ~ 10m 设置，可设泄水孔、泄水管等与墙侧盲沟相连。

(3)寒冷和严寒地区排水设计是一个特殊的问题。只要使纵向排水沟和出水口不冻结，衬砌背后不积水，整个隧道形成一个通畅的防寒排水系统。则隧道就不致产生冻胀破坏，出现大的冻害。如侧墙内移、衬砌冻裂，衬砌表面挂冰、冰柱、冰溜、路面冻起和冰锥等冻害。

由于影响隧道内的气温、水温的因素较多，现在确定防寒水沟的形式和长度主要根据工程类比，按当地最冷月平均气温和当地冻结深度、隧道长度、跨度，参照邻近的或其它地方的类似隧道分析判断。

①寒冷地区，最冷月平均气温在 -10℃ ~ -15℃之间，当地粘性土冻结深度 1.0 ~ 1.50 m 范围内，在洞口段 300 ~ 500 m，可采用双侧保温水沟，水沟不必专门加深。

②严寒地区，最冷月平均气温在 -15℃ ~ -25℃之间，当地粘

性土冻结深度 1.50～2.50 m 范围内，在洞口段采用中心深埋水沟，将水沟埋置于洞内相应的冻结深度以下，利用正地温达到水沟内水流不致冻结。一般是这样考虑的：

a.短于 1km 的隧道，中心沟的埋置深度可按当地砂性土最大冻结深度考虑；

b.长于 1km 的隧道，洞口段 400～500m 范围内，中心沟埋置深度可按当地砂性土最大冻结深度考虑；洞内其余部分可按当地粘性土最大冻结深度考虑。当然如能实测隧道内气温和冻结深度来确定中心沟的埋置深度就更理想。

③严寒地区，最冷月平均气温低于－25℃，当地粘性土冻结深度大于 2.50m 时，如采用明挖中心沟时，埋深过大，施工困难，且有可能影响边墙和隧道的稳定时，可在主隧道下设置防寒泄水隧洞。在这类气候区，有些隧道围岩冻深达 5 m 以上，接近或已在多年冻土区内，还需利用泄水洞作为冬季贮冰用，以便夏季融化或清除。这样断面较小的中心沟过水断面就无法解决。

泄水隧洞设置位置应低于当地围岩最大冻结深度，并且不因隧洞施工影响主隧道隧底围岩及结构稳定。

隧道内其它各项配套排水设施，也不能忽视。竖向盲沟，除在隧道围岩的出水部位要修筑外，应根据具体情况，按一定间距布设，以预防隧道营运期间衬砌背后围岩水文状况的改变。保温出水口也要修好，不致在冬季冻住，造成洞内涌水和涌冰。这一点往往被忽视。

总之，只有使隧道内外形成一个通畅的防寒排水系统，才可能达到隧道防冻，确保隧道衬砌及行车安全。

93.公路隧道围岩疏导排水设计应该遵循什么规定？

答：公路隧道围岩疏导排水设计应该遵循如下规定：

(1)地下水出露处，宜在衬砌背后设置竖向盲沟，或以排水管(槽)、钻孔等引排。这适应于围岩地下水较少，出露比较集中的隧道。但也应注意隧道衬砌修好后，围岩水文状况还会改变的地段；

(2)水量大、出水面广时,衬砌背后应设置环向、纵向盲沟组成的排水系统,将水集排至排水沟内,还可根据需要设置反滤层。围岩地下水量较大,出露面广时,除出露处应该设置环向盲沟(包括拱部的环向盲沟和墙部的竖向盲沟和路面下的横向排水沟组成的环)外,还应按水量大小、出露面广度,控制环向盲沟间距,一般为10~30m,以适应衬砌施工后衬砌背后水文状况的改变。必要时设置竖向盲沟顶的集水钻孔。设置纵向盲沟,使环向盲沟之间的水也能得到通畅的疏导;

(3)当地下水发育,含水层明显,又有长期充分的补给来源时,可根据实际情况,利用辅助坑道排水或设置泄水洞等截、排水设施。地下水水压较高、水量很大时,仅依靠盲沟和中心深埋水沟已不足于排泄丰富的地下水时,就要对衬砌形成水压,造成渗、漏水。故应根据实际情况利用或设置辅助坑道、泄水洞等作为截、排水设施,降低地下水位,尽可能使隧道处于地下水位线以上。

94.当公路隧道洞内水质有侵蚀性时,应如何处理?

答:洞内地下水有侵蚀性,如含盐、含碱、含硫、含硫酸根离子较多时,以及隧道施工时排出的污泥浊水和大量废渣,都可能严重污染附近环境,应采取适当措施防止隧道排水造成环境污染。如:

(1)处理后排水;

(2)排入地下,渗透过滤;

(3)污泥浊水沉淀后排放;

(4)先规划后堆放,如集中堆放至山谷、池沼,然后改造成良田。

95.公路隧道内设置排水沟的基本条件是什么?

答:公路隧道主要根据隧道长度决定是否设置排水沟,不设排水沟的隧道长度为:

(1)一般地区可控制在100 m及以下;

(2)干旱地区可控制在300 m及以下。

否则，公路隧道一般都应设置排水沟。

96.公路隧道洞口防排水设计应该满足什么基本要求？

答：公路隧道洞口防排水设计应该满足如下基本要求：

(1)洞口排水系统应是不渗漏的，才能起到截排水的作用，并将洞口边、仰坡地表水引出洞口以外。边仰坡也宜采用不渗漏的防护措施，防止坡面水下渗和边仰坡的冲刷，因此水沟宜用浆砌片石砌筑，再以水泥砂浆勾缝或抹面。仰坡也可根据情况采用浆砌片石防护或喷射混凝土、喷射砂浆防护；

(2)洞外的水不宜流入公路隧道，是为了保证隧道的正常运行有一定的安全度；

(3)洞口横向排水，一般只在傍山隧道时才可能出现。当出口方向的路堑为上坡时，一般可沿路线方向反坡排水；当地形条件受限制，反坡排水有困难时，最好在隧道口设置有流水槽的横向路面截水沟，使洞外路面水不流入隧道中去。必须有隧道排水时，水沟应保证有足够的过水断面和相应措施；

(4)当有部分路堑水通过隧道时，洞口边沟沉砂井是必不可少的。

97.明洞防排水设计应注意什么问题？

答：明洞防排水设计应注意如下问题：

(1)明洞顶受地表水及径流的影响比较大，如不设截排水系统，容易产生坡面冲刷，产生坍塌，甚至由于水的下渗浸泡回填料，增加明洞荷载。为了保证明洞结构安全、稳定与耐久，明洞顶应设置必要的截排水防护系统；

(2)明洞边墙顶和边墙后设置纵向、竖向盲沟，是为了汇集围岩地下水和明洞顶渗入的地面水；

(3)明洞与暗洞接缝处的防水，应注意将接缝处局部衬砌混凝土加厚 0.05m 以上，注意振捣密实，并将明洞外贴式防水层伸入暗洞衬砌外缘 1.0m 以上，使其搭接粘结良好。

(4)明洞设置外贴式防水层是防水效果显著的防水措施。明洞填土上的隔水层与防水层应注意与开挖边坡搭接良好,以免填土与边坡的搭接处形成水流的通道,渗透与软化回填土体与交界面,产生回填土体的滑移。

98.公路隧道洞内防排水的基本要求是什么?

答:公路隧道洞内防排水的基本要求如下:

(1)洞内、洞外防排水系统是有机联系的,应该形成一个有机的排水系统。

(2)拱部不滴水这个要求是指拱部只出现"渗"的现象,地下水只从衬砌外向内渗,是衬砌内出现面积大小不等的润湿,但水仍附着在衬砌的内表面。

边墙不淌水是指不因漏水现象出现水连续顺边墙内侧流淌面下的状况。

对一般地区,不滴水可放宽至间断滴水或不滴水成线即可;对寒冷地区或严寒地区或地下水有侵蚀性时,则要求严,做到不渗水。

路面不冒水,也即不涌水,不产生有一定压头的水在路面处外冒。路面冒水、积水,不光影响行车,也会引起路面基层下翻浆冒泥和下沉,造成路面开裂下陷,引起水沟、人行道变形隆起,倾斜开裂破坏。

(3)在冻害地区,隧道衬砌后,冻结范围内如积水,必然造成衬砌后的冻胀;而如果排水沟冻结,将造成整个隧道的冻胀病害。如果能做到衬砌背后不积水,排水沟不冻结,衬砌拱部和边墙基本不渗水,则隧道冻害就可消除。

(4)汽车专用公路隧道,对行车环境、防水、防蚀、绝缘要求比一般公路隧道要高,故要求隧道内达到不渗水的地步。

第八章　公路隧道通风、照明与供电

99. 公路隧道通风设计应考虑哪些基本因素？

答：公路隧道内保持良好的空气是行车安全的必要条件。研究资料表明：隧道内空气中的有害物主要是汽车行驶时排出的CO，对人体最有危害。另外，隧道内汽车行驶排放或带起路面上的烟气和粉尘等，都会在隧道内造成空气污染，影响行车的安全。

通风设计应考虑的因素很多，只有充分考虑到各种因素在营运期间造成的最不利影响，综合分析后才能制定出相应的最经济、有效的通风设计方案。

公路隧道的长短、纵坡以及隧道在平面上的线形，对通风都有直接的影响。

交通状况主要包括车辆流量及车种组成，上、下行数量和变化规律等，另外也包括行人密度。

另外，隧道内的温度和温度等因素也对隧道的通风产生一定的影响。

归纳起来，公路隧道通风设计主要考虑如下因素：

(1)公路隧道长度、线形和交通状况；

(2)公路隧道所处地区的地理、气候条件和周围环境的影响；

(3)公路隧道内行驶的车辆和所处地层中排放的有害气体；

(4)公路隧道内交通事故、火灾等非常情况；

(5)公路隧道工程造价和维修保养费用等。

100.公路隧道内空气中影响行车安全的有害物浓度的容许标准值如何选取?

答:公路隧道内空气中影响行车安全的有害物主要包括 CO 和烟尘,它们的浓度容许标准按如下方法选取:

(1)公路隧道内 CO 的容许浓度

①公路隧道内工作人员休息室和控制室等人员长期停留的工作间为 24ppm;

②正常运营时为 150ppm;

③发生事故时,短时间(15min)以内为 250ppm。

(2)公路隧道内烟尘容许浓度

①高速公路,一、二级公路隧道为 $0.0075m^{-1}$;

②二、三、四级公路隧道为 $0.0090m^{-1}$。

101.如何选取公路隧道通风方式?

答:隧道通风受大气因素影响,其影响程度与通风的要求和方式有关,一般来说,自然通风受大气因素的影响最大,是由大气因素所控制,而机械通风受大气因素的影响最小。公路隧道通风方式的种类很多,选择时最主要的是考虑隧道的长度和交通条件,同时考虑气候、环境、地形及地质条件,选择既有效又经济的通风方式。

在选择通风方式时,首先需要决定公路隧道内所得通风量,然后讨论自然风能否满足需要,如果不能满足或缺乏可靠性,就应当采用机械通风。

自然通风相对机械通风是一种较简单、节约能源消耗的通风方式,在选择通风方式时应优先考虑,但受以下条件的限制:①公路隧道两洞口高差较小,总的热压差不大;②公路隧道自然风变化复杂、不稳定;③公路隧道是双向行车,活塞风的作用不存在上述不利条件时,可利用对通风有利的因素,与机械通风并用,以利节能。

机械通风目前一般用在隧道长、交通密度大的重要隧道中。机械通风有三种，即纵向通风、半横向通风和全横向通风。国外倾向于应用纵向式通风和半横向式通风。纵向式通风一般适用于单向行驶、长度约 1500m 以下的隧道。半横向式通风一般适用于长度在 1000～3000m 的隧道。全横向式通风方式普遍被认为是一种理想的机械通风方式，但造价高，一般适用于 2000m 以上的长大、重要、交通密度高的隧道。

通风方式的确定应充分考虑公路隧道内部及外部的各项不利因素，保证隧道的正常营运。但是，很多数据往往是不准确的，加之山岭公路隧道往往修建在人烟稀少的山区，资料收集很不容易，这样就有必要确定一个通常可以作为参考的界限值，以供工程设计人员作为参考，在设计时作为选择通风方式的依据。

根据《公路隧道设计规范》(JTJ 026—90)编写组拟定的“全国公路隧道调查表”收集的 12 省 184 座公路隧道情况表明，目前我国公路隧道的等级都较低，从二级到等外，长度从几十米到七百多米，基本上都无机械通风。采用自然通风效果不错，这主要是由于高等级公路隧道不多，交通密度不是很大，且隧道长度基本都在 700m 以内。连仅有的福建一级公路马尾隧道(单洞全长 966m，单向行驶)也没有考虑机械通风。但其通风充分考虑了行车“活塞风”的作用，可以说是一种大胆的尝试。

以世界各国(包括国内)一些实例来看，隧道长度在 200m 以下甚至 200～500m 时，在一定的交通量以下，可不设置机械通风设备。

另一方面，实行机械通风的隧道，一般都能满足 $LN \leqslant 600$，因此可以考虑用它作为天然换气和机械换气之间的界限。

由《城市道路设计规范》(报批稿 1986 年)第十七章城市道路隧道第十节第 17.10.4 条的规定，自然通风与机械通风的界限值是 LN(N 为设计交通量，以辆/h 作单位，即每小时设计交通量。L 是隧道长度，以公里为单位)为 200 或 300(单向行驶)，经过调查发现，这个标准对于我国目前的公路隧道通风标准明显偏高，这是因为城市道路车辆行驶速度偏低(相对山岭同等级公路而言)，车辆

怠速行驶时废气排放量偏高而引起的，显然不适用于山岭公路隧道。

对于 $LN \geqslant 600$ 作为机械通风与自然通风的界限值是否能适合我国公路隧道今后的发展这个问题，作了一些探讨。鉴于我国目前汽车排放废气污染尚没有一套严格的监督、管理办法，目前我国汽车排放的废气对大气的污染要普遍大于先进国家汽车的单车排污量(先进国家汽车排放一氧化碳基本值为 $0.7m^3/h\cdot$车，而在我国则平均达到 $0.9m^3/h\cdot$车，甚至更高)，基于这一点，界限值定为 600 似乎过大，但考虑随着我国交通事业的发展，大气环境将日益得到重视和保护，不久的将来必定会有一整套严格的管理制度。

根据各国的调查资料，对世界上一些有名的隧道的统计数据绘制的自然通风限界大体上可用图 8-1 中的虚线表示。图中的交通量是交通流中以小轿车为准计算的。

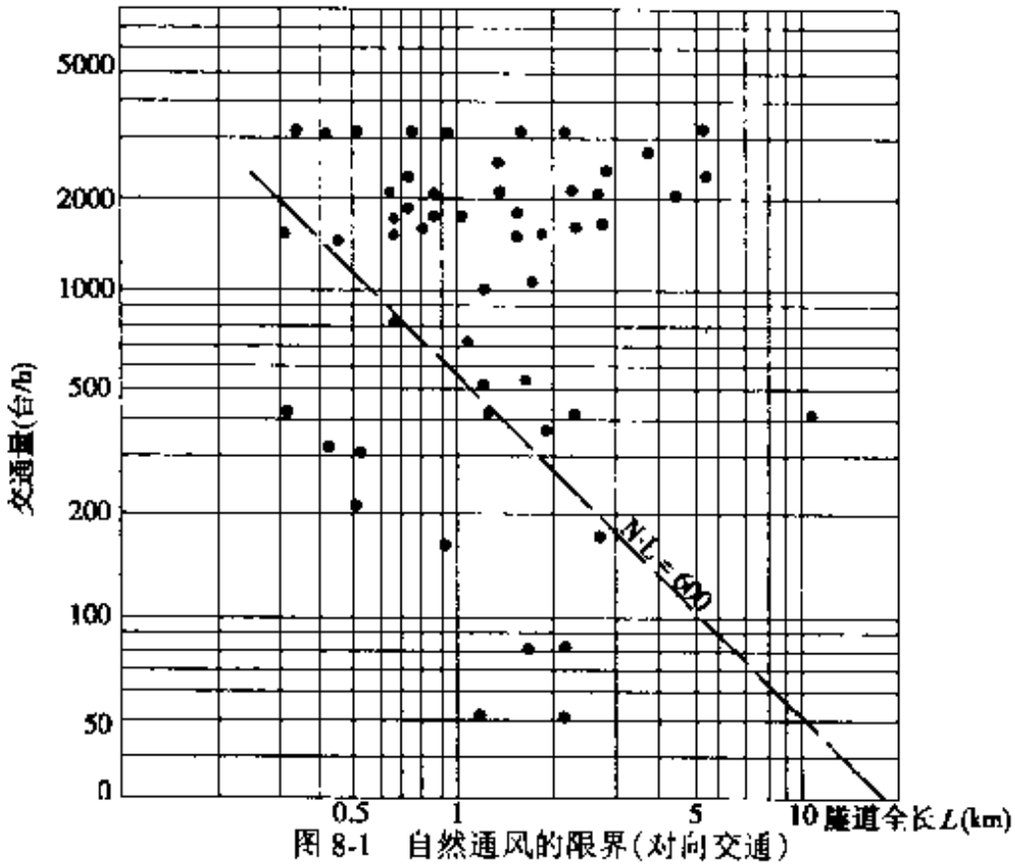


图 8-1　自然通风的限界(对向交通)

上述限界指正常交通情况，如果考虑到可能发生的交通阻滞情况，当乘积 LN 比较大时，作为一种弥补措施，可以考虑使用射流式通风。

高峰小时交通量(*DHT*)是在一定时段范围内的最大小时交通量。实测高峰交通量是对原有道路进行交通量观测后得出的在一定时段范围内的最大小时交通量。在无设计小时交通量资料时，可用高峰小时交通量或实测的高峰交通量计算，亦可取年平均日交通量的15%作为设计小时交通量。

102.公路隧道通风量如何计算?

答:公路隧道内所需风量主要的根据是冲淡隧道CO和煤烟等有害物的浓度，取其最大值为设计通风量，为此分别提出了计算CO换气量和煤烟换气量的公式。

(1)稀释CO新风量：

$$Q_{CO} = K \cdot f_V \cdot f_i \cdot f_h \cdot \frac{q_{CO} \cdot N \cdot G \cdot L}{\delta_{CO}} \times 10^6 \qquad (8\text{-}1)$$

式中：q_{CO}——汽车每吨公里CO产生量($m^3/t \cdot km$)，它是由车辆类型、车重、行驶速度、燃料种类、发动机性能和新旧程度以及驾驶员的技术水平等因素决定的(表8-1)，我国在这方面的研究刚刚起步，尚无很成熟的成果，故很难给出具体的数据，一般在设计通风时，按下式算出CO排出量：

$$M_i = 0.315f - 0.019 \qquad (8\text{-}2)$$

M_i——汽车CO排出量(m^3/km)；

f——燃料消耗率(1/km)；

N——通过隧道的车辆最大小时交通量(辆/h)，取值按隧道的实际通行能力或隧道设计要求确定，当无可靠资料时，可取年平均日交通量的15%作为计算值；

L——隧道长度(km)；

G——车重量(t/辆)，包括车重和载重，应根据不同车辆类型分别计算；

f_V、f_i、f_h——速度、坡度、海拔高度修正系数，系采用国家现有资料制定，其中f_h在海拔标高400m以下取$f_h = 1.0$；

K——风量附加系数，一般取 $K = 1.1 \sim 1.2$，主要是考虑车辆类型计算与实际情况会有出入，根据实际情况作出的风量附加；

δ_{CO}——CO 允许浓度(ppm)，按规定的标准计算。

CO 排 出 量　　表 8-1

名称牌号	耗油 (1/100km)	CO (m^3/km)	总质量 (t)	CO (m^3/t·km)	日本资料	上海资料
北京 BJ130	15	0.0282	4.075	0.007		
跃进 NJ130	20	0.044	5.36	0.0082		
交通 SH141	28	0.0692	8.065	0.0086	大车 0.012	0.0091
解放 CA10B	29	0.0723	8.025	0.009	大车 0.012	0.0091
北京 212	17	0.0345	1.955	0.0176		
跃进 NJ230	25	0.0597	5.090	0.0117		
解放 CA30A	42	0.1133	10.30	0.011	大车 0.012	0.0091
解放 CA340	29	0.0723	7.87	0.0092		0.0091
红旗小客车	20	0.044	3.29	0.013	小车 0.017	
黄河 JN150	25	0.0597	15.06	0.0396		
长征 XD160	40～50	0.107	21.30	0.0050		
黄河 QD351	23.5	0.055	14.56	0.0037		
北京 BT370 自卸	170	0.516	35.90	0.0143		
二汽厂 EQ140 型	28	0.0692	9.29	0.0074	0.012	0.0091
一汽厂 CA10 型	25.8	0.062	8.375	0.0074	0.012	0.0091
一汽厂 CA15 型	26.5					

(2)稀释烟尘的新风量：

$$Q_F = K \cdot f_1 \cdot f_h \cdot \frac{q_T \cdot G \cdot D \cdot L}{k} \qquad (8\text{-}3)$$

式中：q_T——柴油车产烟量($m^3/t \cdot h$)，按 PIARC 推荐，由表中查出；

D——柴油车密度，$D = M/V$(辆/km)；

M——按第 30h 交通量中柴油车所占百分比折算出的柴油车交通量；

V——隧道设计车速(km/h)；

G——柴油车质量(t)；

K——烟尘允许浓度(m^{-1})，按规定的标准取值，其它符号意义与前相同。

103. 公路隧道机械通风设计应注意的基本问题是什么？

答：公路隧道机械通风设计应注意的基本问题如下：

(1)由于车辆行驶的不规则性，很难找到一个计算甚至估算车辆在公路隧道内行驶引起的风流情况。对于单向行驶的隧道，行车引起的交通风流有益于通风，而双向行驶的隧道，则由于对向行驶产生紊流，所以在双向行驶的隧道中采用机械通风时就不应考虑车辆行驶的影响。车道空间因纵向通风或半横向通风而引起的沿隧道纵向流动的风速过大时，对车辆和行人均有影响，使人有不舒适感。若发生火灾，烟火会迅速蔓延，危及下风方向行车和人员，所以风速应有一定的限制。日本规定从安全和舒适性上要求，风速应限制在 12m/s 以下；前苏联规定由通风系统在隧道内所造成的风速不应超过 6m/s，但在有技术经济论据的特殊情况下，可达到 10m/s，PIARC 推荐为 8m/s，故推荐采用 8m/s。

(2)为保证进入隧道内的空气洁净，达到最佳的机械通风效果，机械通风的进风装置应安设在空气污染最小的地方，并与隧道空气出口隔开。排出的污染气体不应超过国家规定的排放标准，如有超出，应采取技术措施进行整治。

通风机械除需定期检查、维修外，还应进行妥善的保管，注意防潮、防锈蚀，寒冷地区还应有防冻措施。当隧道内出现火灾时，

能及时变换送风方向，疏导火灾在隧道内造成的烟雾，所以规定通风系统应能根据自然风向的变化进行调节，以利节能。

(3)为应付隧道内的通风系统出现故障，避免因此而引起的人身伤亡事故，重要的长隧道中应设有备用风机以提供紧急通风。受投资限制时，备用风机可不在隧道使用初期配备(也可避免不必要的锈蚀)，但一定期限后应装配备用。备用风机的送、排风量可按正常通风需求量的50%配备。备用风机提供通风后，应立即对出故障的通风系统进行检修，使通风系统尽快恢复正常运行。

(4)噪声作为一种污染源在我国日益得到严格控制，在许多工程中已有明确的要求。我国《环境保护法》对噪声标准作了专门规定，其中城市交通干线道路两侧(指车流量每小时一百辆以上的道路，相当于公路沿线)环境噪声标准值为：昼间70(dB)，夜间55(dB)。由于通风机的噪声较大，所以对噪声污染问题在设计时应予以充分重视。

(5)通风机械传入隧道内的噪声，不得超过表8-2的规定。

噪 声 控 制　　表8-2

倍频程中心频率(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
倍频程声压级(dB)	99	92	86	83	80	78	76	74

104.如何选择机械通风公路隧道的通风机？

答：通风机是把机械能转变为空气压能的一种装置，它是实现隧道机械通风的关键设备。目前，国产通风机有两种类型：即离心式通风机和轴流式通风机。通风机的选择包括选择通风机的类型、通风机的型号、通风机的联合运转方式以及通风机的机号、转速和叶片安装角等。合理的通风机是在满足通风要求(足够的风量)时工作效率η比较高的通风机。通风机选择的依据是隧道的通风阻力和要求的通风量$Q(m^3/s)$以及其他的一些隧道条件。通风机的选型可按下列步骤和方法进行：

(1)根据离心式和轴流式通风机的优缺点选择通风机的种类

离心式和轴流式通风机的优缺点归纳如下：

①在结构上轴流式通风机具有体积小、重量轻、动轮直径小、转速高、可与电动机直接联接等优点；但其缺点是结构复杂，故障多，各部件都装在机壳内部，检修不方便，噪音大。离心式通风机则有结构简单，造价低，维修方便，坚固耐用，运行可靠等优点；其缺点是动轮直径大，机体大，转速低，一般不能与高速电机直接相联。

②在性能上轴流式通风机特性曲线的工作段比较陡斜，当风量 Q 有较小变化时会引起风压 h 较大变动。因此，它适应于阻力变化大而要求风量变化小的隧道中，而离心式则与此相反。轴流式风机的风压 h 曲线上有驼峰，若风机在驼峰范围内工作，就会引起风机风量、风压和功率的波动，产生不正常的振动和噪音，因此，风机的工况点应选在驼峰右侧稳定区中。

③在性能调节方面，轴流式通风机可通过改变叶片的安装角和转速调节性能，调节简单、经济，调节幅度大。离心式风机也可通过改变前导叶的角度和转速调节性能，但调节不方便且调节幅度小。选择通风机时，要根据两类风机的优缺点，结合隧道通风条件和要求进行具体分析和计算，选择应做到安全、可靠、经济、方便。

(2)根据通风机的类型特性曲线选择通风机的型号

同一种类的通风机，按照叶轮和前导器的形式，前导器和整流器上叶片的安装角等不同分成多种形式(即型号)。每一种类型的通风机的特性用它的类型特性曲线描述，不同类型的通风机的类型特性曲线不同，其中区别较大的是合理的工况点的范围(通风量和通风压力的范围)。正确选择通风机的型号就是寻求既能满足隧道通风量又能使工况点落在合理范围的类型特性曲线。通风机型号选择是通风机选型的关键。

(3)根据通风机的个体特性曲线选择通风机的机号

对于同一种类型的通风机，按照叶轮直径的大小又分成不同的规格(即不同的机号)。在通风机的类型选定以后，就能够保证风机的工况点处于一个比较合理的(效率能够满足要求的)范围内，但要使风机具有一个更为理想的工况点，还要选择合适的机号。选择机号主要依据通风量。一般风量要求大，叶轮直径选择

就大些。

(4)当单机不能满足风量要求时,应取两机或多机并联运转

在隧道通风阻力小,而要求风量大的情况下,采用通风机并联运转能够取得比较好的效果。通风机联合运转的效果取决于单个风机的特性以及两台风机的联合特性。两台通风机并联运转时,通风量增加明显,一般可比单机通风量增大70%左右。随并联风机的台数增多,风量增加的效果会减小,所以并联风机以2~3台为宜。风机并联运转时两台风机的型号相同时,选型方便,管理维修也方便。

(5)调整通风机动轮转速和叶片安装角

调整动轮的转速和叶片安装角有两个目的:①调整动轮转速和叶片安装角使风机效率最高且最稳定的工作状态;②因隧道交通量或其他条件变化引起隧道通风量和风阻发生变化时,调整动轮转速或叶片安装角可改变风机工况点。

105.公路隧道各区段设计亮度如何选取?

答:公路隧道照明应以白天和夜间两种不同情况确定设计亮度。白天照明的隧道,其照明区段的划分和路面最低亮度可按下列照明渐变梯度图8-2和表8-3设计。

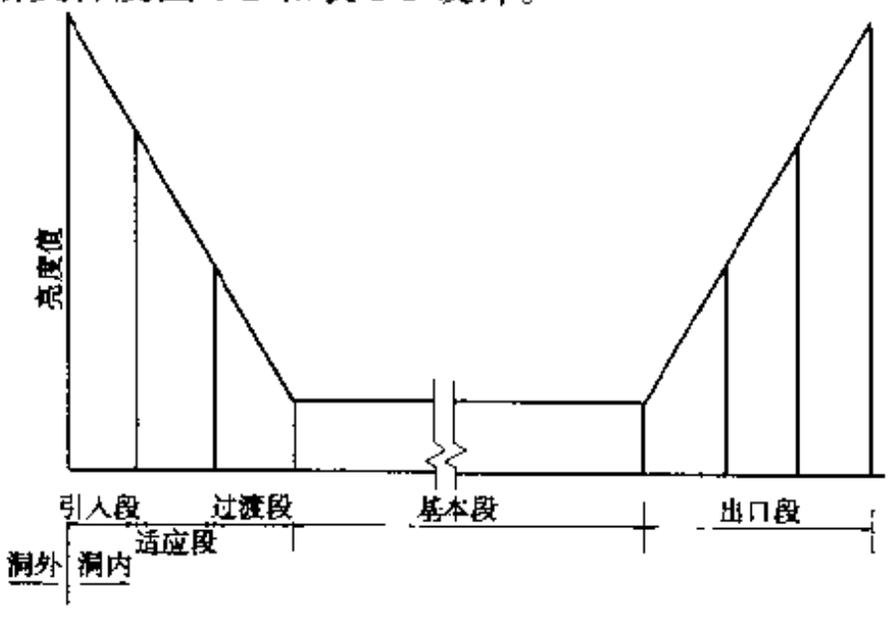


图8-2 白天照明渐变梯度图(双向交通)

区段照明长度及路面最低亮度　　表 8-3

设计车速	引入段		适应段		过渡段		入口照明区间总长度
(km/h)	距离 (m)	亮度 (cd/m²)	距离 (m)	亮度 (cd/m²)	距离 (m)	亮度 (cd/m²)	(m)
80	40	80	40	80～46	40	46～4.5	12
60	25	50	30	50～30	30	30～2.3	85
40	15	30	20	30～20	20	20～1.5	55
20 及以下		1.0		1.0		1.0	

注：①上表是以隧道口部亮度为 4000cd/m² 为基本亮度拟定的，如果洞外亮度大于或小于 4000cd/m²，表值应乘以系数 K_0，K_0 为洞外亮度除以 4000 所得比值；

②表中数值适用于双向行驶的隧道；

③当洞口设有减光措施时，可考虑缩短引入段或取代引入段；

④当设计速度超过 80km/h 时，应作专门研究。

106. 公路隧道的照明标准是什么？

答：公路隧道内基本照明及夜间照明标准列于表 8-4。当隧道外有路灯照明时，隧道内路面亮度值不得低于露天路段亮度的 2 倍。

基本照明及夜间照明亮度　　表 8-4

设计车速 (km/h)	路面平均亮度 (cd/m²)	换算平均照度(lx)	
		混凝土路面	沥青路面
80	4.5	60	100
60	2.3	30	50
40	1.5	20	35
20 及以下	1.0	15	20

注：①平均照度换算系数：13(混凝土路面)；22(沥青路面)；

②当设计车速超过 80km/h 时，应作专门研究。

107. 不设灯光照明的公路隧道需要采取什么措施？

答：国内外很多资料认为，无灯光照明的公路隧道必须使用反

光材料，反光标志应符合国家有关规章条例的要求，起到诱导行车的目的。利用反光材料的方法很多，以下介绍几种常用的办法。

(1)无照明的双向隧道中的反光标线用白色反光级划分车道，标线可采用球形玻璃珠反光。此外，还在标线上按一定间隔另加白色的、反光的、双向可压下、无压即复元的(自擦式)反光路灯；

(2)隧道墙：为了进一步增强显示，可在隧道墙上距路面 1m 左右的高处设置红/白双向反光标志。这些标志可用反光片、叠层球面镜或棱镜(棱角块)材料制做，红色一侧面向紧邻车道上驶来的车辆；

(3)标志：在隧道的引道上应安装标志，通知驾驶员开亮下倾前灯，并在隧道出口处提醒关灯；

利用反光材料做反光标志应进行高质量的保养，一般自擦式反光路灯和棱角块形的反光标志在隧道中较为有效，因其发光强度系数高，但对路面和隧道墙等易积灰尘和油污的部位应经常冲洗和清扫。

108.公路隧道内其它照明应满足什么要求？

答：公路隧道内除了供行车交通照明外，还有许多其它的照明，其中最主要的是供紧急照明用的应急照明和临时停车、修车用的(指长隧道)避车处照明。公路隧道内其他照明应符合下列规定：

(1)公路隧道内应急照明必须有独立的供电系统，照明亮度值不得低于基本亮度值的 1/10；

(2)公路隧道内设紧急停车带时，停车处亮度应按基本亮度的 1.5～2 倍设计。

109.为了保持公路隧道洞口外低亮度，可采取什么措施？

答：洞口外地段应尽量保持低亮度，可采取在路旁及洞口附近

铺草坪和植树。洞外路面采用反射系数低的的路面材料，洞口设遮阳棚或减光格栅等措施。洞门设计应有利于隧道照明。

为了减少照明投资，使行驶中的汽车顺利进入隧道，可以在洞外做一些人工减低洞口周围环境亮度的工作(白天照明)。在国外，经常被用到的措施是充分利用白光的作用，如在洞口设遮阳棚、减光格栅或采光井，起到了很好的作用。但这些设施成本较高，且对管理的要求也较高，在我国目前阶段难以推广。另一些常用的方法是在进出洞口路旁及附近铺植草坪或种树，这些方法较经济、有效。此外，洞口应避免正对阳光，防止阳光直射造成眩光。

110.如何选择公路隧道照明光源及灯具?

答：照明光源宜选择在烟雾中有较好透视性的低压钠灯或显色性较好的荧光灯，寒冷和严寒地区宜选择启动温度较低的光源；隧道出入口照明，宜选择小型、大光通量的高压钠灯或高压荧光灯。

照明灯具的选择应符合照明要求，宜选择尺寸合理，耐腐蚀性强，不易老化，防潮和防喷流的灯具。

照明光源及灯具的选择是否适当，是公路隧道照明质量有无保证的关键。公路隧道照明的光源，除了应满足在公路隧道特定环境下的光效、光通量、寿命及工作特性、光色、显色性和控制配光的难易程度等主要要求外，还应选择在汽车排烟形成的烟雾中仍能保证有良好能见度的光源。因此，在通常情况下，应使用在烟雾中有较好的透视性的低压钠灯，如果是短隧道或柴油车比率较小的公路隧道，烟雾会少些，亦可使用显色性好的荧光灯。在公路隧道出入口照明，可用小型大光通量的高压钠灯或高压汞灯。随着新一代光源的不断问世，应积极选择、应用新光源。

公路隧道照明用的照明器的主要作用是控制配光及保护光源。在选择照明器时，应充分注意以下几点：

(1)照明器的配光特性是否符合照明目的，能否符合于设置该

照明器场所的几何条件。

(2)形状和尺寸是否小而坚固,安装、维修应方便。

(3)材料应有良好的耐腐蚀性能,必要时要施以表面处理。

(4)对公路隧道墙面的配光及烟尘的污染应充分注意。

111.如何布置公路隧道的照明器?

答:照明灯具布置应起到诱导行车的作用,应避免一侧布设,并不得出现眩光。隧道内路面、墙面亮度应分布合理,照明灯具宜呈线形分布,一般情况下,路面亮度均匀度不应小于1/3。

为了保证隧道内照明光线的柔和,应交叉布置灯具。布置的方法很多,可在拱顶、墙壁或在拱顶安设吊装顶棚上安装灯具,国外也有在余宽上布置投光照明的成功先例。总之,照明灯具的合理布置就是要在最经济的条件下达到最好的照明效果。

光亮分布合理表现在隧道内路面、墙面光线分布均匀,无刺激性眩光,也无昏暗的死角,保证无周期性的闪光现象。实验表明,1次/秒的闪光频率为瞌睡频率,驾驶员会很不适应,容易产生视力疲劳,容易出事故,所以应充分注意灯具的配光作用。

112.公路隧道供电系统设计的基本要求是什么?

答:公路隧道供电系统设计的基本要求如下:

(1)根据国标《供配电系统设计规范》(GB 50052—95)的规定,公路隧道供电系统设计必须执行国家技术经济政策,做到保证安全、供电可靠、技术经济合理。

(2)公路隧道供电一般应与当地供电部门达成协议,就近解决隧道的动力负荷和照明负荷的用电。在偏僻、边远地区,缺乏相当功率的电源时,应当考虑自筹解决供电电源,如架设专线、自备发电机、建造小型发电站等。此外,对重要隧道还应考虑应急电源的设置,应急电源可用蓄电池或发电机提供。

(3)隧道内供电分动力供电和照明供电。我国的网络电压,在较低的交流电压范围内的标准等级为500、380、220、127、110、36、

24、12V 等，从安全出发，隧道内供电网络不采用对地大于 250V 的电压。在三相交流系统中，中性良好接地时，380/220V 的网络对地电压不大于 250 V。

(4)一般设照明和通风的隧道，都设有专门的电设备控制室，为便于控制，大多控制室都安设于隧道口(与管理、保养部门共同安排)。

第九章　公路隧道营运管理设施

113.公路隧道营运管理设施设置的基本原则是什么?

答:公路隧道营运管理设施设置的基本原则如下:

(1)公路隧道营运管理设施,应按安全、经济、适用的原则进行设计。分期修建时,隧道断面应能满足后期安装设施的建筑限界要求;

(2)公路隧道营运管理设施的规模,应根据公路等级、隧道长度、设计交通量、地理位置与所在环境、使用条件等综合研究确定。

114.公路隧道内动力电缆选用的基本要求是什么?

答:公路隧道是一个相对潮湿,且有火灾危险的空间,所以,供电导线的选择和敷设方式都应慎重处理。公路隧道内的动力网络主干线宜使用无麻层的铠装电缆;照明网络宜用穿管导线或铠装电缆,且其导线的额定电压不得低于500V。

115.公路隧道电缆槽布设应该遵循什么规定?

答:通讯、信号与电力等电缆通过公路隧道时,宜设置电缆槽。电缆槽的布设,除应符合有关专业的要求外,尚应满足下列规定:

(1)通讯、信号电缆可设在一个电缆槽内,也可分设,但必须和电力电缆分槽布设。当电力电缆沿隧道边墙或顶板架设时,应有必要的防护措施;

(2)通讯、信号电缆的弯曲半径一般不小于1.2m,电力电缆槽的弯曲半径通常为电缆外径的6~30倍;

(3)电缆槽底有高低差时,纵向应顺坡连续;

(4)电缆槽一般宜与边沟一并考虑,并在适当地点预留引进或引出电缆的孔穴和检修洞。当电缆槽单独设置时,应设盖板,盖板顶面应与人行道或边沟盖板平齐。

116.公路隧道电缆及电缆槽铺设应满足什么要求?

答:电缆及电缆槽铺设应符合下列规定:

(1)当采用混凝土槽敷设电力电缆时

①电缆槽内有可能浸水或油污时,应将电缆架在沟架上;

②电缆槽应铺设细砂或自熄性泡沫塑料垫层并加盖板;

③电缆在沟底敷设应互相分开,其间距不应小于 10cm。

(2)当沿隧道边墙架设电力电缆时

①支撑钢索用的托架,其间距在直线部分不宜大于 20m,曲线部分不宜大于 15m;

②钢索每隔 300~500m 应设一耐张段;

③钢索上悬挂电缆固定点的间距不宜超过以下数值:电力电缆为 0.75m;控制电缆为 0.6m;

④在潮湿流水处,电缆与墙壁之间的距离不应小于 5cm。

(3)500m 以上的隧道,应在电缆槽同侧设置余长电缆腔,间距为 500m(隧道长度 500~1000m 时,可只在隧道中间设一处)。

117.公路隧道内供维修和养护作业用的电力插座如何设置?

答:公路隧道内应设置供维修和养护作业用的电力插座,插座宜设在避车洞内或设在有人行道及检修道的侧墙上,安装高度(距地面)不得低于 1.5m。在双车道隧道内,插座应配置在隧道的一侧,多车道的隧道,插座宜交错排列在隧道的两侧,两插座的间距一般不宜超过 50m。

118.公路隧道内管理及其设施的设置存在什么基本要求?

答:一般高速公路、一级公路及长度在 1000m 以上的公路隧道都应设人看守。巡守值班电话间隔 500~600m,如果没有电源供

给。可采用磁石式干电池电话或无线电对讲器。隧道天井包括竖井及斜井。

隧道管理机构的设置原则,应根据公路等级、隧道长度以及隧道内设备安装(包括通风、供电、信号、照明、消防、通讯、报警、监测、广播系统)情况而定。对高速、一级公路的长隧道、特长隧道,安装有电子自动控制设备的,均应设置监测控制中心室或营运管理指挥室或隧道管理处,随时观测隧道设备的运转情况,监管车辆违章、处理事故,隧道维修、养护及收费等工作。一般公路遂道可由隶属的公路养护机构(养护道班)管理。

119.公路隧道内应设置哪些主要标志性建筑物?

答:公路隧道内应设置的主要标志性建筑物如下:

(1)隧道两端洞口附近应设置限制时速、禁止超车、停车等标志;

(2)高速公路、一级公路的长隧道和特长隧道,可根据需要设置公路情报和交通监视设施;

(3)隧道内禁止高压电线、煤气等燃料管道通过。隧道两端洞口墙上,可考虑设置洞名标志,包括隧道名称、长度、修建年月等;

(4)隧道内路面应划线,并与洞外路面划线保持连续性。曲线隧道应设置行车诱导标志,并宜采用反光标志或标线。

(5)500m 以上的高速公路、一级公路隧道,宜单独设置存放专用消防器材等的洞室,并作出明显标志。

120.公路隧道内设置哪些救援设施?

答:公路隧道内主要设置如下救援设施:

(1)相邻双孔隧道之间,宜按表 9-1 规定设置供巡查、维修、救援及车辆转换方向用的行人横洞及行车横洞;

(2)避车洞及横洞的衬砌类型,一般应和隧道相应部位衬砌的类型相同,避车洞及行人横洞的底面应与人行道或边沟盖板顶面平齐。行车横洞两端应与路缘带顺坡,并设半径不小于 5m 的转

弯喇叭口；

(3)500m 以上的高速公路、一级公路隧道，宜单独设置存放专用消防器材等的洞室，并作出明显标志；

(4)采用机械间歇通风的隧道，宜在洞口进深 100m 处及隧道中间处，各设置一氧化碳浓度检测器和烟雾浓度探测器；

(5)长大隧道必要时应设置报警、消防及其它应急设施。

横洞间距及尺寸(m)　　表 9-1

名　称	间　距	尺　寸	
		宽	高
行人横洞	200～300	2.0	2.2
行车横洞	400～500	4.0	4.5

注：①隧道长度为 400～600m，时，可在隧道中间设一行人横洞，长度小于 400m 时，可不设行人横洞；

②隧道长度为 800～1000m 时，可在隧道中间设一行车横洞，长度小于 800m 时，可不设行车横洞。

121. 公路隧道内应设置哪些消防设施？存在什么基本要求？

答：在隧道发生火灾事故时，因受到狭小空间的限制会导致交通混乱，因而事故发生后，首先应对隧道外及隧道内的后续行驶车辆给以警报表示，防止后续车及对向车再驶入隧道，以减轻次生灾害。

对于灭火设施，一般在火灾发生时，由事故当事者以及发现者易使用的灭火器、消火栓等设备作初期灭火活动。继由隧道管理处消防人员使用消火栓、喷雾设备分别进行强力的灭火活动。除此以外，还要有排烟、避难、救援等设施，以减轻灾害程度。

另据国外统计，隧道内火灾频率为 10～17 次/亿车·公里，平均频率为 13.5 次/亿车·公里，可供拟定设防标准时参考。

高速公路、一级公路的隧道，根据隧道等级，可参照表 9-2 设置紧急救灾设施。一般应有以下设施：

(1)通报设施：采用按钮式通报，也可采用自动通报装置，沿隧

道边墙每隔 15m 一个。这些装置均应与隧道管理处及洞口音响报警器相联动。

(2)紧急报警装置:可采用警报指示板、警报灯或音响警报器,安装在两端洞口和隧道内,每隔 500m 设一处。

(3)紧急灭火器:可采用自动灭火器或自动喷淋设施,每隔 5m 一个;消防水栓每 50m 一个。隧道内应设消防水管及消防用水源,消防水管应与电缆槽分开埋设。

(4)其他紧急设施

①排烟设备:在有机械通风设备的隧道,要考虑尽速排除火灾烟雾,当以风机作吸出式排烟时,应在通风机附近设管道内的喷雾器以冷却风扇。

②避难设备:充分利用隧道内的横洞,设置紧急出入口、方向转换洞、避难引导标志和紧急广播器等。

③紧急电源:在规划隧道供电时,应考虑当公用电源突然停电,隧道内设备能正常运转的设施。

④紧急闸门:隧道两端洞口及洞内行人或行车横洞之间设置自动开关的金属闸门,火灾时关闭隧道,避免灾情扩大。紧急救灾设备的设置标准见表 9-2。

紧急救灾设备的设置标准　　表 9-2

	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道
通报设施	※	※	※	
警报设施※	※	※	※	
灭火设施	※	※		
其它设施	※			

注:表中"※"表示应予考虑的设备。

122.公路隧道内除设置常规营运管理设施外,还应设置一些什么其它设施?

答:公路隧道内除设置常规营运管理设施外,还应设置一些其

它设施：

(1)公路隧道一般不作内壁装饰，当需要时，内装应经济耐用，易于保养，并适当考虑美观，内装不得侵入公路隧道建筑限界。公路隧道内的内装，主要作用是增强照明效果，并协调环境。因人眼对黄绿光最为敏感，所以内装材料应以淡黄和浅绿为佳。未经内装的混凝土衬砌表面，很容易吸附引擎排出废气中的粘稠油分，并与烟雾、尘埃一起沾在表面，所以内装应是不易污染、耐高温、耐酸碱腐蚀、表面光洁的材料。鉴于多数隧道内存在漏水现象，内装又应是在水的长期浸泡下或在潮湿环境中不易变质的材料。有镜面反射的材料，达到一定反射角度时，能直射刺激司机的眼睛，不宜采用。

(2)高速公路、一级公路的隧道宜采用消音设施。隧道长度在300～500m之间时，可只敷设洞口段吸音板，短隧道可不设消音设施。若装置消音板时，隧道断面设计净宽应增加15～20cm。

(3)征收通行费的隧道，可在隧道两端洞口引线段外适当地点设置收费站，并应设立预告标志牌。

(4)设专人管理或养护的隧道，可根据需要设置管理养护人员的办公和生活设施。长和特长隧道的管理处，还宜配备洒水车和清扫车、升降式检修车。收费设备根据隧道长度和交通量、投资情况，可采用人工、半自动或自动式收费办法。隧道两端洞口附近如需设置饮食、卫生、供油、休息场所等服务设施时，必须在引线段外，并应由隧道(公路)管理部门统一规划。

123.公路隧道设计对噪声的基本要求是什么？

答：隧道内的混响时间较长，在交通量大、噪声级较高的隧道内，噪声应控制在可以用电话(报话器)与管理处(或中心控制室)通话的程度，一般应保持在80dB(分贝)以下。采用的吸声材料，还应具有内装的特性，吸声结构应与内装结构相结合。

安装侧壁吸音板一般高为3～4m，顶板吸音板宽为5～8m，敷

设长度:洞口两端各 40 ~ 60m,洞内每隔 40 ~ 60m 敷设长 40 ~ 60m。在适当段落安装噪音检测器。

关于消音墙预留净宽问题:双层空心板比单层能降低噪音 5 ~ 10dB,双层板间空隙最好不小于 10cm,装置消音板时,隧道断面设计净宽应增加 15 ~ 20cm。

施工篇

SHIGONGPIAN

第一章　施工计划

第一节　施工计划的编制

1.编制隧道施工计划的目的是什么?

答:随着社会生产力的发展、社会进步和人们对公路隧道使用功能要求的不断提高，公路隧道也经历了由小到大、由简单到复杂的发展过程。现代公路隧道是一项复杂的工程，一般规模大、内容多、涉及面广，且往往需要许多个专业的工程技术人员协同工作，必须按计划、按步骤、有顺序、有组织地进行。因此，公路隧道建设项目要获得成功就必须事先编制隧道施工计划。

为了促使施工单位强化内部约束机制、提高严格管理的自觉性、增强企业活力，企业管理人员必须熟悉本隧道建设项目中的每一个重要环节和全部过程，才能有效地对工程质量、工程进度、工程费用进行控制，从面达到高效、安全、经济的工程施工的目的，故需要事先编制隧道施工计划以便实施过程中检查、对照、调整。

由于现阶段隧道工程理论还存在许多不足之处,提供的隧道设计文件也难完全与实际情况相符,在施工及管理时会有不少事项要依赖于工程责任者的判断来决定,面编制隧道施工计划的过程就是了解工程特点、寻找施工难点、作出各种判断的过程。由经验丰富的技术人员参加编制的隧道施工计划对工程责任者作出合理判断会起到有益的帮助。

2.编制隧道施工计划的要点和程序是什么?

答:施工计划应按照施工安全、经济、计划工期的要求进行编制。为此需在设计图纸的基础上,充分调查工程内容及相关条件等,用详细而综合的视点来研究这些条件和各工程内容之间的关系,就"施工方法、作业组织、物资器材和设备、施工管理、安全卫生管理、环境保护"等方面进行筹划。隧道的工程内容一般包括:准备工程、临时设备工程、洞口附属工程、开挖工程、弃碴工程、喷射工程、岩石锚杆工程、钢支护工程、仰拱工程、衬砌工程、防排水工程、隧道路面工程、装饰工程和其他附属工程等。与各工程内容相关的施工条件有:隧道的工程规模、山体的地形和地质条件、隧位当地条件以及其他制约条件。隧道的工程内容会因施工条件不同而有所不同。综合研究两者之间的关系也是编制隧道施工计划的要点。

根据设计的隧道断面、隧道长度、规定的工期,定出适应于隧道围岩条件、当地条件的经济而安全的施工方法,再由此定出施工进度计划,然后再考虑实施此计划的要领,以及洞内、外配备的机械、设备,以利确保工程的安全施工。此外,制定施工计划时,还要安排工作人员、资材、机械、设备等,办理用电合同手续,交涉用地,并就环境问题与当地有关人士进行事前协议,如有问题,要修改计划方案,不致产生大幅度的施工变更。施工计划应按此程序制定。

3.编制隧道施工计划时要研究哪些主要事项?

答:为满足施工计划的基本内容,编制隧道施工计划时主要应研究下列事项:

1)坑道工区的划分。依据隧道长度、工期限制、纵坡坡度、围岩条件等进行工区划分,并考虑周围环境、施工设备、弃渣场地等具体条件,从多个比较方案中选择工期短、费用低的有利方案。工区划分时以自然排水为原则,尽量不要向下坡方向施工;各工区划分,包括设置的辅助坑道在内,应尽力使各工区的竣工时间一致。

2)施工方法的选择。考虑隧道断面、工区长度、工期限制、围岩条件、当地条件等,综合研究后选定合理的施工方法。隧道施工方法包括:开挖方式、开挖方法、支护方式、洞内运输方式、辅助方法以及视情况而定的特殊方法。开挖方式是指人力开挖、爆破开挖、机械开挖等开挖手段;开挖方法是指全断面法、上半断面法、导坑法等隧道掘进方法;支护方式有喷混凝土、锚杆、钢支撑等单独使用的和组合使用的,还有钢支撑与背板一起使用的;洞内运输方式指以汽车为主的无轨方式和利用机车和斗车的有轨方式等;辅助方法主要指稳定掌子面和加强为目的的掌子面喷混凝土、掌子面打锚杆、超前管棚、简便的药液压注等。选择开挖方法时,首先应考虑围岩条件和开挖断面的大小对掌子面自稳性和涌水的影响,其次应考虑地质条件的变化易于灵活处理,采用的开挖方法最好与各种辅助方法同时使用,尽可能采用单纯的掌子面分部法;在导坑法中开挖各种导坑的目的有的是用以排水降低水位,提高掌子面的自稳性,有的作为超前导坑确认前方的围岩条件等;支护方式应采用能与围岩密贴、并能有效地利用围岩强度、保持隧道稳定的支护方式,原则上采用喷混凝土、锚杆或其他组合形式,也有使用与钢支撑的组合形式,或者采用钢支撑和背板同时使用的背板法;洞内运输应选择最适合隧道断面尺寸、工区长度、坑道坡度、开挖方法和开挖方式等的运输方式;无轨方式较有轨方式所需洞内、外临时设备要简单,适用于断面大、长度较短、涌水少的隧道,但需大型通风设备配套,有轨方式不受隧道规模的制约但受隧道纵坡的限制,当坡度大于20%时须采取可靠的防滑行措施。

3)施工进度的安排。依据选定的施工方法,计算各工程内容所需工天数,通过对关键工序的施工速度调整、施工资源的分配与安排,编制出能满足工期要求、费用低、施工质量有保证的进度计划。隧道施工作业大体上分为准备、开挖、衬砌及收尾等。从作用空间来看,开挖和衬砌同时施工时有困难,通常采用开挖、衬砌分别施工的方式,由于衬砌的施工进度较开挖快的多,所以工期一般是由开挖进度所控制。

4)辅助坑道的规划。当隧道需要分为几个工区施工时和洞口施工有困难的情况下,可采用辅助坑道。在规划辅助坑道时,应研究用途、进度、围岩条件、当地条件、机械条件、施工完成后的处理措施等。辅助坑道的作用有机械材料和石渣的搬运、作业人员的出入、给排水、送排气、送电、测量等。辅助坑道视其坡度可分为横洞、斜井和竖井。斜井、竖井与横洞比,其施工性、作业性、安全性都较差,故应对安全充分考虑。选择辅助坑道的设置位置和断面时,要考虑围岩条件、辅助坑道口部灾害(洪水、暴风雪、滑坡等)的可能性,和隧道建成后用作通道、通风的永久设施的必要性,以及取得用地的难易程度。应在调查结果的基础上,综合研究其进度计划、安全性、经济性、施工性。设置竖井应使之尽量接近主洞,但也不要拘泥于联络通道的长度,可按地质及当地条件选择一良好的位置。

5)洞外设施的计划。为使施工安全、进展顺利,要基于对围岩条件、当地条件的调查研究结果,规划出与施工规模、施工方法相适应的洞外设施,以及对施工用地和设备的布置。规划的运输便道以有效、安全、可靠的方式与施工用地和已有运输道路联接。对使用已有公路的路段,应研究是否需要拓宽、加固等。隧道施工要耗费大量电力,要事前与电力部门办妥送、变电事宜,为此要预估出适合施工规模的电力负荷设备、计算出最大耗电量。对像排水泵等不允许停止运转的设备,或增另一系统电源,或自备发电设备。为排放隧道涌水、施工用水、生活用水的污水净化设备和炸药库等,应依据有关法令、法规进行规划设置。

6)弃渣场的计划。基于对当地条件调查的成果,考虑工程规模、施工方法、围岩条件等,选择运输容易,并能存放大量弃渣的场地。为尽量减少弃渣的数量,应考虑其作为骨料和填料的有效利用。弃渣中含有对周围有影响的物资时,或有损弃渣场本身的安全时,应采取必要的对策。

7)保护环境的措施。隧道施工产生的噪音、振动、地面沉陷、建筑物的变异、地表枯水、污浊排水、交通障碍等对周围环境有影

响时，应基于环境调查的成果，在编制施工计划时研究其措施。在矿山附近、矿床地带等修建隧道时，应研究围岩中重金属等的溶解而出现水质污染、有害气体的溢出产生空气污染的可能性，如预计有可能时，要研究其应对措施。关于环境保护措施，有采用特殊的施工方法、发生源措施、限制作业时间、对象的防护或加固加强等方法，对不能采取充分措施的情况，要研究替代设施和设施的转移等。

4.隧道施工计划文件如何组成？

答：一、总说明书

描述隧道概况、地质条件和采用的施工方法，各项编制依据、合同工期要求、施工中可能遇到的困难和采取的相应的措施，以及其它需要说明的问题。

二、洞口场地平面布置图

洞口场地平面布置图应反映出主要施工设施、施工便道、弃渣场地、各种管线、材料存放场、车辆停放地、生活办公设施等及工程构造物、重要地物的平面位置。

三、施工作业计划

除包括下列各项内容外，还要明确各工种的作业分担和保障安全作业的指挥系统。

1)坑道施工工区的划分。用隧道纵断面图显示隧道工区的划分情况，并表示出划分的工区数、各工区施工方向、各工区起始点与终结点的桩号；简要说明工区划分的理由、费用和施工难易程度。

2)辅助坑道的设置。用平面图、纵断面图反映辅助坑道与主洞的相对位置，用横断面图反映辅助坑道的断面形状和尺寸，以及支护类型和数量。就其用途、进度、安全性、经济性、施工性、作业性加以说明。对于临时性辅助坑道还需提出施工完成后的处理措施。

3)施工方法的选定。就其工程内容分别用文字和图表的形式

说明选定的施工方法和施工顺序。施工顺序则用作业流水线图说明。

四、施工进度图

用横道图、斜条图或网络计划等常用方法表述隧道施工总体进度计划。总体进度计划要从临时设施等准备工作开始到施工结束后的收尾工作都要有条不紊地全部纳入所需工期之中，在施工进度计划中必须明确有关工作所需的天数和工作间的相互关系以及各项工作的控制日期，还要将气象条件影响考虑在工期内。在总体进度计划的控制下编制年度、月份进度计划，以确定年度、月份的施工任务和施工进度。

五、工程数量表

按划分的施工范围，换算各项工程内容的工程数量，如某工区的洞内开挖、衬砌、回填和洞门、仰坡土石方排水系统以及辅助坑道等各项工程数量，并用工程数量表反映各项工程量的计算结果。

六、人员安排和劳动组织计划

根据进度安排和工程数量，包括洞外各项工程、临时工程和附属辅助作业等，按劳动定额和工班组织分期安排劳动组织计划。编制表格反映工班组人员工种的组成，绘制折线图反映各时间段的人员总数。

七、施工机具设备计划

根据施工方法和进度安排以及供风、供电方案，对需用的机具，按型号、规格计算数量，编制机械和设备计划表，包括管线路、拱架、钢模及斗车等。

八、主要材料供应计划

根据工程数量、施工进度和机械运转计划，按材料消耗定额计算出分年度、季度供应的主要材料数量表，如爆破器材、木料、水泥、钢材、各种燃料和油料等。

九、大堆材料数量和运量计划

按各施工口的进度分年度、季度计算需用砂、碎石、片石等数量，并按额定加损耗计算运量。可用表格和折线图反映大堆材料

数量的供应计划。

十、临时工程计划

对生产、办公和生活房屋，运输公路和其它道路，风、水、电设施和管线路的运输和架设、安装，供水用的储水池和机械用的循环水池以及其它大型辅助设施等，分别算出工程数量、主要材料数量和劳动工天数，并用图表表示之。

十一、洞口有关工程

对洞外路基、支护挡墙和桥涵等与隧道施工有干扰的工程，计算其工程数量及需用的主要材料、劳动工日和必要的机具设备，与隧道施工统筹安排并提出避免或减少干扰的具体措施。

十二、施工技术措施

针对施工中容易发生的工程质量、施工安全和影响施工进度的问题提出具体有效措施；在施工中推广新技术和新工艺，以保证质量、节省工料、降低成本、加快进度；预计在施工期内全面完成任务所采取的措施等。

十三、施工管理计划

规定出作为工程管理、质量管理、安全管理等施工管理的管理项目、管理方法、管理体制，用图表格式反映各项管理的标准值或目标值以及数据等，并对本工程管理项目所需的设备作出计划。

十四、安全卫生管理计划

就安全指挥系统的组成、联络网络的构成、安全规则的设定、安全教育体制的形成等进行编制。制定的安全卫生对策，要将平常的管理按以人为本的原则进行，对异常时的灾害等情况有所防备。

十五、环境保护计划

指就隧道施工影响周边环境的噪音、振动、枯水、地基变形、污浊排水、建筑废料、交通阻塞等现象，作出相应的对策。

5.编制洞口场地平面布置图有哪些注意事项?

答:1)洞口场地布置应考虑周全，不应遗漏重要项目。一般要

综合考虑施工设施、施工便道、弃渣场地、各种管线、材料存放场、车辆停放地、生活办公设施等及工程构造物、重要地物的平面位置。施工设施包括:空压机房、锻钎机房、通风机房、充电房、搅拌机站、修配车间、钢筋加工棚、木工房、抽水机房、蓄水池、发电房、配电室、变电站等。各种管线主要指:轨道、高压风管、供水管、排水沟、高压电路等。材料存放地有:水泥库、配件库、炸药库、雷管库、钢材库及砂石木材堆放场。车辆停放场指钻孔台车、喷混凝土三联机、衬砌台车、装渣机械、运输车辆等停放检修地。生活办公设施包括:卫生所、办公室、招待所、宿舍、浴室、食堂及俱乐部。

2)合理布置施工设施、施工便道、材料存放场、车辆停放地,以利于加快隧道施工进度。尤其是长隧道和特长隧道工程量大,要求进度快,施工机械化程度高,更应注意合理的布置,以使洞内外各项工作协调配合,充分发挥机械效率。一般情况下:空压机房、通风机房、搅拌机站、蓄水池、抽水机房应靠近洞口布设;钢筋加工棚、木工房、充电房、修配车间、发电房、配电室、变电站等尽量布置在洞口附近;大堆材料堆放场地,应安排在拌和机械附近并便于运输,常与水泥库以及材料加工房一起规划,其场地面积应考虑在洪汛期内储备量的堆放,并应结合地形条件,尽量利用高站台低货位,以利装车进洞。

3)妥善布置生活房屋、爆破器材库等,确保施工人员有较好的生活条件和安全保障。隧道施工工期长、劳动强度大、每天工作时间不固定,因而保持施工人员具有良好的体力非常主要。所以,生活房屋与洞口宜保持一定的距离,使工人有安静的休息环境,但也不要设在隧道洞顶附近,以免生活用水大量渗入隧道,同时还要考虑避免火灾、洪水、滑坡等灾害的威胁。炸药库、雷管库需分别单独布设,要有一定的安全距离,常设在远离施工场地的小山头或背坡上。

4)灵活布置场内便道、车辆停放地、大堆材料堆放场地等,达到节约开辟场地所需花费。山岭隧道的洞口一般多受地形条件限制,长隧道施工设施多,往往难于一次布置妥当,利用弃渣场、洞口

路基逐步发展，使臻完善，是一项很好的措施。一般是将易于搬迁、变动的场地或前期不急需的场地作二次布置，但要注意二次布置场地时，不应对隧道施工产生延误或与其他工程施工发生干扰。场内便道常需多次布设才能完善，进场便道与之衔接点的确定应考虑到这种变化，通常放在较为开阔平坦的大堆材料堆放场处。如果弃渣场地、进场便道处在不良地质地段，要注意不得因弃渣、加载引起滑坡。

5)洞口场地布置图的详略程度，应根据工程规模大小确定。长隧道和特长隧道工程量大，施工设施多，机械化程度高，为能合理的布置，应做出场地总布置图。中、短隧道的工程量相对小，需要的施工设施和使用的机械设备较少，洞口场地布置图可以从简，有些短隧道则可以与其附近的长隧道或路基、桥涵等工程合并布置。

6)洞口场地布置应在地形图上按比例标绘，将需布置的各种设施、欲修建的构造物、原有地物等要用简明符号标示，参见图 1-1。

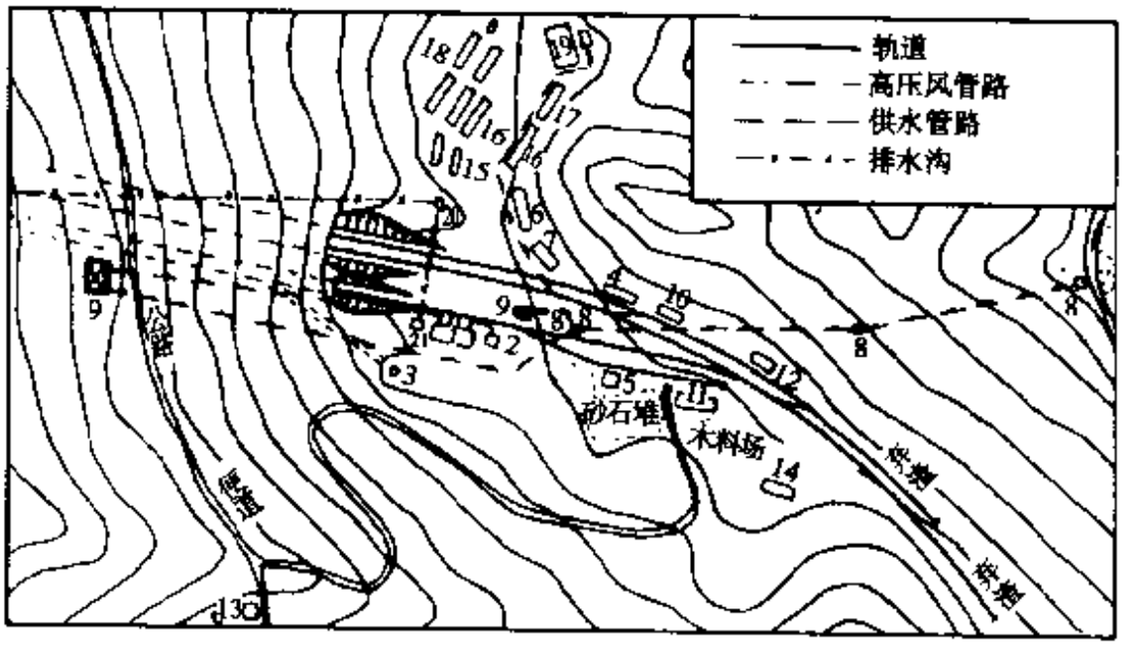


图 1-1　洞口场地布置示意图

1-空压机房；2-锻钎机房；3-通风机房；4-充电房；5-搅拌机；6-修配车间；7-木工房；8-抽水机棚；9-蓄水池；10-发电房；11-水泥库；12-材料库；13-炸药、雷管库；14-供应站；15-卫生所；16-办公室；17-招待所；18-宿舍；19-食堂及俱乐部；20-配电室；21-变电站

6.隧道施工计划编制前要作好哪些工作?

答:为使隧道施工计划编制的具体、准确、切合实际,关键在于做好施工调查和设计文件核对。

应做好的施工调查工作有:

一、本工点的对外交通运输条件和拟建施工运输道路的比选方案。对外交通运输条件需调查已有道路的等级、车流量,施工车辆、机具是否能通过,是否需要加固、加宽,竣工后是否需要整修复原等;拟建施工运输道路的方案比选,要注重对便道修建的工程量、修筑时间长短的比较研究;还要考虑到恶劣气候、洪水等对便道运输的影响。

二、洞口可供施工布置的条件。除调查洞口范围的地形、地质情况外,还应了解洞口外相邻工程和已有建筑物的情况。洞口外相邻工程包括距洞口较近的拟建桥梁、涵洞、路基等工程,已有建筑物包括地面或地下的民用建筑、各种管道渠道、历史文物及其他设施。要注重了解其工程量或拆迁量和保护措施,研究其施工方案和施工安排,尽量做到能利用实施上的时间差减少临时用地数量。

三、水源、水质调查和供水方案比选。了解隧道范围内水库、湖泊、河流等供水源,调查水源的地点、水量、水质,进行多种供水方案比较。一般远距离供水会影响到工程造价.供应不符要求的隧道用水要影响工程质量、施工人员身体健康。所以,选用的水源水质要符合卫生标准,其水量在枯水季节也能满足施工和生活用水。如需便用附近农田灌溉用的水库或池塘的蓄水,须查明其蓄水量能否满足农灌和隧道施工两者用水的最大需要,并取得有关方面的同意;利用地表水源位于洞顶附近时.须分析地表水和地下水的补排关系,预计隧道开挖后地表水是否有可能向开挖坑道下渗流失。在调查水源同时,应考虑供水方案的布置,如蓄水池或抽水站的位置及集中供水或分散供水等措施。

四、建筑材料。沙石砖灰等大宗材料的供应直接关系到工程

的造价、工程质量和工程进度，要调查它们的产地、数量，鉴定其质量。一般情况下，当砂石集料的质量和产量满足要求，还要考虑采集和运输受洪水和冰雪季节的影响，选择产地应根据开采条件、运距远近、供应方法等进行综合经济比较后确定。

五、可资利用的电力资源。隧道施工要耗费大量电能，除极度困难的特殊地区外，一般都以商业电网作为主要供电电源，要调查可供利用电网的输电电压、供电量、供电时间、接电地点。查阅设计文件是否存在有关隧道运营供电协议，如有要加以利用；如无隧道运营供电协议，则根据调查结果拟定供电方案，与自备电方案进行经济比较后选其一。

六、当地气象、水文情况。调查当地雨季的总雨量、最大降雨量及其发生时间；调查洪水期的最高水位，山洪暴发对施工设施和房屋危害程度，枯水期对河运的影响；调查当地冬季平均气温、最低气温开始和持续的时间，以及冻害情况；调查当地最大风力等级和持续时间，以及各季风向变化情况；在雷击区应查明雷击范围和雷击日数及其发生时间和其他影响施工的气象条件，如雪崩规模。施工进度安排时要充分考虑上述因素影响，如雨季来临前完成洞口工程、寒冷季节安排路基开挖、洪水前完成桥涵基础等。

七、当地居民点的社会状况。查明当地可支援的季节性劳动力、施工用具加工能力、可供居住的房屋数量。了解当地少数民族的宗教、风俗习惯，以便教育施工人员严格遵守民族政策，尊重当地民族风俗习惯。另外进行隧道施工对当地居民正常生活影响程度的事先调查，如居民房屋的结构类型、破损情况、建筑面积，水井的水位、水量、水质，生长的植物种类、数量等。调查结果要有记录并做好标记，可作为研究减少这类影响措施或事后赔赏的依据。

八、生活供应和医疗卫生条件。调查主副食品和燃料的供应情况和供应点至工地的运输条件；当地的邮局、商店、银行能否满足工地需求。调查当地医疗卫生条件与多发病、常见病和传染病

情况。

九、施工污水、废气、噪声等对周围环境的影响。因为施工用水中混有混凝土外掺剂等、生活用水会含有洗涤剂等，所以隧道施工排水应避免造成下游的水源、良田被污染；隧道施工机械排放的废气、生活锅炉放出烟尘，以及放炮和施工设备产生的噪声，都会对周围环境造成空气污染和声污染，尤其是洞口附近有人群活动场所时影响更为严重。通过调查应提出必要的措施。

核对设计文件，应充分了解以下要点：

一、核查勘察资料。检查设计提供地形、地貌、工程地质、水文地质的测绘、钻探图表说明等，是否齐全，是否符合实际，必要时进行勘查核对。着重对造成隧道施工极端困难的以下方面作进一步了解：

1)洞口及浅埋地段以及隧道穿过严重风化层、堆积层或台地等，有无偏压或滑动可能；

2)洞身通过的沟谷，其发育、分布、冲刷和淤积情况，洞口是否设在易受冲刷或不稳定的沟谷边缘；

3)洞身所处岩层走向、裂隙的特征及其组合关系，特别是隧道通过断层、褶皱、破碎带对施工的影响；

4)隧道范围内溶洞分布情况、洞穴大小、穴内有无水，溶洞与隧道位置的关系和影响坑道稳定性程度；

5)鉴别黄土隧道的围岩属于老黄土还是新黄土，了解其厚度及其中夹杂层成分；

6)查明含盐地层分布、层位及厚度，地下水渗流情况及地下水中硫酸根离子、游离碳酸的含量；

7)洞口、坑道口受泥石流危害的程度、其发生的条件和影响范围，是否正在发展；

8)含煤地层有害气体瓦斯(CH_4)的浓度、涌出量及压力等，并预计出现煤层及瓦斯突出的可能隧道部位；

9)地下水来源、类型及水压、水量、水质，与地表水补排的关系，及地下水分布对隧道施工的影响。

二、研究隧道与所在区段地形、地质条件的关系。核对隧道平面设计、纵断面设计与所在区段的位置，是否与线路总平面图和纵断面图一致；是否有利用辅助坑道进行工区划分的必要性和可能性；隧道进出口和辅助坑道的设计位置是否恰当；洞门与洞口地段其他各项工程的相互关系如何；弃渣方案是否符合施工布署的要求，对占用耕地和农田灌溉的影响。

三、分析洞门、洞身的结构类型、式样，以及辅助坑道的类型是否适应现场实际条件；判断洞口仰坡边坡的稳定程度是否能保证施工和运营的安全；研究洞口排水系统和排水方式的安排是否妥善。

四、核对设计文件中的坐标、里程桩号、高程及结构尺寸，核对洞口与洞口土石方，桥涵、挡护墙等工程数量。

五、分析设计文件建议的施工方法和有关技术措施，是否符合实际，有无变更的必要。

7.减少洞口施工干扰、争取施工场地的措施有哪些?

答:1)因地形限制需利用洞内弃渣逐步发展，形成场地后进行施工的临时工程，应规划过渡措施，分期安排。一般是先安排急需的、搬迁对施工影响较大的临时工程，如搅拌站、空压房、变电室等；再安排不需要稳固基础的、容易搬迁的临时工程，如水泥库、砂石堆积场、停车场地等；最后安排不急需的、容易建立的，像钢筋加工场。

2)洞口稳定关系到隧道施工安全，事后的处理会造成严重的干扰。所以洞顶仰坡的开挖加固必须在进洞前做好，仰坡范围的天沟、边沟排水系统应在雨季前完成。

3)为避免洞口工程反复施工而造成施工干扰，对位于洞口范围内的路堑应一次做好；对利用弃碴作填方的路堤，其基底处理应预先完成；对受弃碴影响的桥梁墩台，应先做好或做出地面一定高度，弃碴严防偏压墩台；涵渠和下挡应在弃碴前完成，上挡墙及护墙应配合洞口场地内路堑施工一次完成。

4)影响施工场地布设的洞口有关工程的施工安排，要根据工期要求、工程量大小，确定是先期施工还是滞后施工，或穿插施工。如靠近洞口的较大涵洞，限制了场地布置，关系到水的出流，宜先期施工；路堑在地形低的边坡以外，如土石方数量不大，可一并挖除，以扩大施工场地。

8.房屋选址和布置应考虑哪些因素?

答:1)安全性。临时房屋的位置：应避开坍方、滑坡落石、泥石流和洪水等自然灾害的威胁；其间距布置应符合防火规定；处于雷击区，不应布在古树、高压电杆附近，应按防雷击规定，装设必要的避雷器；爆破器材库应远离有人群处，且有足够的安全距离。

2)适用性。临时房屋数量大而使用期短且用途不同，一般尽量就地取材、构造坚固、光线充足、通风良好、不漏雨。在布局上应考虑：水泥钢材等大宗材料运距短、倒运次数少；风、水、电等主要管线路，应能一次安装妥善，避免在隧道施工后再行更改；生活办公用房宜远离噪声源，使施工人员和管理人员有一个好的休息工作环境；各种生产房屋要便于隧道施工和材料加工，如空压机房一般安装靠近洞口，进洞管路要求短捷顺直；锻钎房、电焊棚和锻工房，可合并布置。

3)技术性。各种生产房屋按其不同的技术条件和要求进行布设，像空压机、发电机、变电站和循环水池的圬工基础，必须坚固，符合设计要求，尽量布设在地基良好处；供水的蓄水池及管道在严寒地区应有防冻措施，并应于冬季前及早完成，可以考虑置于地表以下；整个施工场地要有临时排水系统，沟渠需采取封闭措施。

4)经济性。减少临时用地面积，尽量使用工程用地，可减少临时用地整治费用和恢复费用；利用地球引力缩短砂石材料运输距离或降低输水能耗，如利用地形条件设置高位料场和蓄水池，使用溜槽或管道将砂石、水送至隧道洞口。

第二节　施工计划的指标

9.隧道施工综合指标是什么?

答:隧道施工的综合指标是指将开挖、支护和(或)衬砌等各工序完成的半成品长度折算成隧道成品长度,能反映隧道施工各阶段完成的工程数量总合,称为成洞长度;它也能反映单位时间内所有工序综合完成工程量的多少,即综合施工速度,常用月成洞长度表示。

1)隧道成洞折算系数。各工序的折合成洞系数常依据本工序使用工天占成洞总工天的比值决定。辅助坑道则不计在成洞内。主要矿山法施工的各工序成洞折算系数[1]参见表 1-1。

各工序成洞折算系数表　　表 1-1

工序名称	全断面法	正台阶法	上下导坑法
开挖下导坑			0.18
开挖上导坑			0.10
上部开挖或扩大		0.22	0.10
下部开挖或扩大		0.38	0.17
全断面开挖	0.65		
全断面衬砌	0.29	0.34	0.39
铺底(水沟及电缆槽)	0.01(0.02)	0.01(0.02)	0.01(0.02)
仰拱(水沟及电缆槽)	0.02(0.01)	0.02(0.01)	0.02(0.01)
衬砌背后压浆	0.03	0.03	0.03

注:表中开挖各工序应包括钻爆、找顶、支撑、装渣运输及其必要的辅助作业如炸药加工、通风、装拆管线路等在内。衬砌各工序应包括洞外装料、运输与装拆模板、拱墙架和脚手平台,以及拌和、灌筑、捣固、养护、回填及其必要的辅助作业。表中内容适合铁路隧道矿山法施工,对于新奥法施工的公路隧道成洞折算系数应经计算后确定。

2)安排隧道进度指标。一般是指根据工期要求或施工预算指

标确定的月成洞长度，进行施工组织计划时可据此指标确定工区数，以确保按期竣工。安排隧道进度指标[1]可参见表 1-2。

安排隧道进度参考指标表 表 1-2

项目		隧道长度（km）					
		>6	6~4	<4~2	<2~1	<1~0.5	<0.5
施工预算要求指标	主要工序全部推进的月成洞（m）	>120	120	100	80	60	30
	换算开工至竣工的平均月成洞（m）	>100	100	80	60	40	20
实际施工完成月成洞（m）		118	87	62	42	26	14

注：自开工至竣工的月成洞按预算指标增加 3~4 个月换算得出。

3）实际施工进度指标。是指施工单位对以往施工进度的统计值，它反映施工单位的施工水平、机械化程度，与采取的施工方法、围岩类别有关。隧道实际施工进度统计指标[1]参见表 1-3。

隧道实际施工进度统计指标表 表 1-3

施工方法	月成洞长度（m）	
	最高值	平均值
上下导坑法	94.5	37.5
正台阶法	75	56
全断面法	200.6	91.6

10. 何谓隧道综合成洞工天和使用工天？

答：隧道综合成洞工天数指隧道每延米成洞所需的、主要工序的使用工天，它不包括辅助、附属作业使用工天在内。因工作效率受围岩状况、开挖方法影响较大，使用工天数也出入较大，故常采用综合平均值。按不同围岩类别给出的隧道综合成洞工天[1]参见表 1-4。

不同围岩隧道综合成洞工天参考表　　表 1-4

项　　目	Ⅱ～Ⅲ类围岩	Ⅳ～Ⅴ类围岩	Ⅵ类围岩
开挖工天数	100～82	76～52	56～40
衬砌工天数	60～52	48～38	28～21
管线及其他工天数	20～16	16～10	16～9
使用总工天数	180～150	140～100	100～70

注：Ⅰ类围岩的工作效率资料上下幅度较大，一般需要 200 天以上。

使用工天是指完成隧道每延米部分工程、主要工序所需的工天数，一般也是统计数。不同围岩辅助坑道使用工天数参见表 1-5，它包括开挖、必要的支护、一般排水在内的主要工序。不同施工方法的隧道开挖工天数参见表 1-6。隧道的喷锚支护工天数参见表 1-7。隧道的衬砌工天数参见表 1-8。

不同围岩辅助坑道使用工天参考表　　表 1-5

辅助坑道类型	横断面积(m^2)	Ⅱ～Ⅲ类围岩	Ⅳ～Ⅴ类围岩	Ⅵ类围岩
横洞	14	30～25	24～20	20～17
平行导洞	9	24～20	20～16	16～14
斜井	12	33～29	27～23	22～19
竖井	20	48～40	38～32	32～28

注：斜竖井使用工天数与开挖深度有关，本表按 100m 井长计算。

不同施工方法隧道开挖工天参考表　　表 1-6

施 工 方 法	工序名称	Ⅱ～Ⅲ类围岩	Ⅳ～Ⅴ类围岩	Ⅵ类围岩
上下导坑法	下导坑开挖	30～25	24～20	
	上导坑开挖	22～18	16～14	
	上部扩大	20～16	15～13	
	开挖中层	7～5	5～3	
	挑马口	18～14	13～10	
	其他	3～4	3～4	
	合计	100～82	76～64	

续上表

施工方法	工序名称	II～III类围岩	IV～V类围岩	VI类围岩
正台阶法	弧形导坑开挖		28～23	23～20
	台阶以下开挖		34～29	27～22
	其他		4～6	4～6
	合计		66～58	54～48
全断面法	开挖		54～46	46～36
	其他		4～6	2～4
	合计		58～52	48～40

喷锚支护每延米使用工天参考表 表 1-7

部位	项目	IV类围岩	V类围岩	VI类围岩
墙部	锚杆	6～4	4～2.5	
	喷混凝土	6～4	5～3	4～2
拱部	锚杆	6～4	4～2.5	
	喷混凝土	6～4	5～3	4～2
	制安钢筋网	5～3	5～3	

注：锚杆间距：IV类围岩以1.5m计，V类围岩以1.8～2.0m计；喷混凝土厚度：IV类围岩以10～15cm计，V类围岩以7cm计，VI类围岩以5cm计。

衬砌每延米使用工天参考表 表 1-8

部位	项目	II～III类围岩	IV～V类围岩	VI类围岩
拱圈	灌注混凝土	22～20	18～15	16～14
	制砌混凝土预制块	(26～22)		
边墙	灌注混凝土	24～21	20～15	喷混凝土4～2
	制砌混凝土预制块	(29～26)	(24～20)	
	修凿石料计砌石	(36～30)		
其他	回填浆砌片石	8～7	7～6	5～3
	回填干砌片石	(6～4)	(6～4)	
	铺隧道底		2～1	2～1
	铺仰拱及填充	5～3		
	水沟及电缆槽(包括盖板)	1	1	1
合计		60～52	48～38	28～21

注：合计数不包括括号的工天，需要时按表内相应项目增减。

11. 隧道施工人数怎样确定?

答:隧道洞口主要工序全部展开后,按月成洞要求,需要的出工人数[1]参见表 1-9。

洞口出工人数参考表　　表 1-9

隧道长度 / 月成洞 / 施工方法	0.5~2.0km	2~4km	4~6km	>6km
	70m	100m	120m	150m
全断面	300~330	350~370	380~400	410~430
先墙后拱	360~400	440~480	520~560	600~640
先拱后墙	460~500	600~640	700~740	800~840

注:表中人数按每日三班作业制配备,并包括洞外必要的附属辅助作业人员。

洞口配备总人数中考虑非生产人员占 12%~14%,而生产人员按 85%~90%的出工率,则有:

$$\text{总人数} = \frac{\text{实际需要出工人数(见表 1-9)}}{(0.88\sim0.86)(0.85\sim0.90)}$$

配备各工种人数所占比例参见表 1-10。

各工种人数所占比例参考表　　表 1-10

洞内		洞外	
工种	所占比例	工种	所占比例
开挖	0.27~0.22	机电工	0.05~0.04
支撑	0.06~0.03	木材加工	0.03~0.02
衬砌	0.26~0.23	砂石加工	0.06~0.05
运输	0.20~0.14	爆破器材加工	0.03~0.02
三管两线	0.06~0.05	机修工	0.03~0.02
机电工	0.05~0.04	其他	0.02
合计	0.90~0.71　平均 0.80	合计	0.22~0.17　平均 0.20

12. 隧道施工机械怎样配置?

答:施工中所使用的机械应适合其施工方法,在各种可供选择

的机械中，须仔细思量各种机械的性能和特性，还须研究隧道的山体条件、施工长度、开挖面积以及作业内容，酌情选定合适的机械并考虑其相互配套作用。表1-11、表1-12、表1-13分别为全断面法机械配备数量、正台阶法机械配备数量和侧壁导坑开挖机具数量，仅供参考[1]。

全断面法机械配备数量参考表 表1-11

工序	机械名称	规格型号	工作能力	配备数量
掘进	液压凿岩台车	TH286－35	四臂	0～1
	液压凿岩台车	H177－35	二臂	0～1
	液压凿岩台车	H178－35	三臂	1
	轮式装载机	三倾980C	$4m^3$/斗	0～2
	轮式装载机	三倾966D		1～3
	轮式装载机	950B		1～3
	倾斜车	RD030	22t	3～4
	倾斜车	奔驰	15t	10～15
	液压反向铲			0～1
	简易钻孔台车			2～4
	三联车机械手			1
衬砌	钢模衬砌台车			0～1
	简易衬砌台车			2～4
	混凝土拌和楼	S/S－10CP	$60m^3$/h	0～1
	混凝土拌和机		800L	0～1
	混凝土拌和机		400L	1～2
	强制式混凝土拌和机		375L	1～3
	混凝土输送车		$8m^3$	3～5
	混凝土输送泵		60m/h	1～2
	混凝土输送泵			2
通风	轴流式通风机	1000～1250m^3/min		5～6

正台阶法机械配套数量参考表　　表 4-12

工作内容	设备名称	规格	数量	说明
土方开挖	电铲	手持软轴式	2	
	反铲	0.6m³	1	
	风吹电钻	127V，自制	4	
	履带式装碴机	953 1.7m³	1	
	履带式装碴机	988 B	1	
	自卸汽车	PERLiNi 121	4	
喷混凝土	喷射机	转子型	2	
	强制搅拌机	250	1	
锚杆、钢筋网、钢拱架	电钻	自制、风吹	2	背后注浆；钻孔开口
	压浆泵	牛角式	1	
	钻机	7655	2	
	电焊机	交流、手提	2	
排水	潜水泵		2	
	钻机、真空泵		20	
二次衬砌	防水层台架	自制	1	通风机、空压机未记
	模板台架(车)	访制 GKK	1	
	混凝土泵	新泻 30m³/h	2	
	混凝土搅拌站	西德 45m³/h	1	
	混凝土输送车	FV313JML	3	

双侧侧壁导坑开挖机具参考表　　表 4-13

设备名称	规格	数量	设备名称	规格	数量
空压机	电动 20m³/min	1	锚杆注浆器	牛角型	3
	电动 10m³/min	1	电焊机		3
	内燃 12m³/min	1	潜水泵		2
电瓶车	XK8－7/132	2	通风机	轴流式 JBT－61	3
装碴机	风动	2	梭式矿车	8.5m³	3
充电机	硅整流 90	1	凿岩机	风动 7655	20
拌和机	电动 250L	3	斗车	V 型 0.75m³	12
喷射机	PH30	4			

13. 隧道施工主要材料消耗量如何估计?

答:隧道施工消耗的主要材料包括:开挖材料、支护材料、衬砌材料、管线路材料等。一般根据设计文件、爆破计划、管线路布置图、混凝土配合比以及施工组织计划提供的数据,经计算后可得出设计的材料消耗数量。但隧道施工中存在因管理不善、工艺不精、意外损失等无法预计的损耗量,使隧道施工主要材料消耗量难以准确计算,常需依据以往的施工经历加以估计。表 1-14、表 1-15 分别给出双线隧道和辅助坑道每延米开挖材料消耗量,表 1-16、表 1-17分别给出每公里供气水管路和供电线路的材料数量,仅供参考[1]。

双线隧道每延米开挖材料消耗量参考表 表 1-14

围岩类别	硝铵炸药(kg)	雷管(个)	导火索(m)	工具钢(kg)	合金钻头(个)
II ~ III	65 ~ 72	118 ~ 135	200 ~ 230	10.5 ~ 12.5	(0.5 ~ 1.5)
IV ~ V	80 ~ 90	145 ~ 160	250 ~ 300	14 ~ 16	(2.5 ~ 4.5)
VI	98 ~ 108	160 ~ 180	300 ~ 330	19 ~ 21	(6 ~ 8)

注:表中数据按各种不同施工方法综合平均计算;采用合金钻头括号内数字时,工具钢应按表列数减少 70% 左右。

辅助坑道每延米开挖材料消耗量参考表 表 1-15

坑道分类	断面积 (m^2)	围岩类别	硝铵炸药 (kg)	雷管 (个)	导火索 (m)	工具钢 (kg)	合金钻头 (个)
横洞	9	II ~ III	10 ~ 13	15 ~ 20	30 ~ 40	1.5 ~ 1.9	(0 ~ 0.15)
		IV ~ V	17 ~ 21	22 ~ 28	44 ~ 59	2.4 ~ 3.0	(0.4 ~ 0.6)
		VI	23 ~ 25	28 ~ 31	62 ~ 68	5.4 ~ 5.7	(0.9 ~ 1.0)
平行导洞	14	II ~ III	15 ~ 20	22 ~ 30	44 ~ 60	2.5 ~ 3.0	(0 ~ 0.2)
		IV ~ V	25 ~ 31	32 ~ 40	67 ~ 84	3.8 ~ 4.6	(0.6 ~ 0.8)
		VI	34 ~ 38	41 ~ 46	90 ~ 100	8.4 ~ 8.8	(1.4 ~ 1.5)

续上表

坑道分类	断面积（m^2）	围岩类别	硝铵炸药（kg）	雷管（个）	导火索（m）	工具钢（kg）	合金钻头（个）
斜井	12	Ⅱ～Ⅲ	15～20	22～30		2.5～3.0	(0～0.2)
		Ⅳ～Ⅴ	25～31	32～40		4.0～4.8	(0.6～0.8)
		Ⅵ	34～38	41～46		8.6～8.9	(1.4～1.5)
竖井	20	Ⅱ～Ⅲ	28～37	42～55		3.8～5.0	(0.1～0.3)
		Ⅳ～Ⅴ	44～54	57～70		6.8～8.2	(0.9～1.2)
		Ⅵ	60～66	72～80		13.5～13.8	(2.0～2.3)

注：斜竖井采用电爆，除雷管用电雷管外，还另计电线耗用量；采用合金钻头括号内数值时，工具钢应按表列数减少70%左右。

每公里供气、水管路数量参考表 表 1-16

管路分类	管路区别	规格（mm）	每公里需用量			附注
			管长（m）	配件名称	配件数量	
压缩空气管	主管	φ100～φ150 高压钢管	1000	法兰盘	200片	①选用管径与供风量及隧道长度有关，本表系按≤7km隧道计，大于7km时，应经计算决定 ②每根钢管长度以10m计 ③管径≤φ65时，配件一般用管箍 ④软管φ25用于连接凿岩机
				橡胶垫片	100片	
				螺栓带帽	≤φ150用600个	
					>φ160用800个	
				三通	>17个	
				弯头	根据需要	
	支管	φ50～φ100钢管		法兰盘	每根管子2片	
				橡胶垫片	每根管子1片	
				螺栓带帽	每根管子4个	
		φ25～φ50软管			每台凿岩机10m	

续上表

管路分类	管路区别	规格(mm)	每公里需用量			附注
			管长(m)	配件名称	配件数量	
供排水管	主管	φ80～φ150钢管	1000	法兰盘	200片	①供水管径与隧道用水量有关，表列按≤7km隧道计 ②管子长度每根以10m计 ③软管φ19用于连接凿岩机
				橡胶垫片	100片	
				螺栓带帽	≥φ100用600个	
					<φ100用400个	
				三通	根据需要	
				弯头	根据需要	
	支管	φ38～φ65钢管		管箍	每根管子1个	
		φ38～φ19软管			每台凿岩机10m	
通风管	压入	φ500塑料风管	1000	镀锌铁线	50～80kg	每节通风管长度以5m计
	吸出	φ700～φ500金属风管	1000	橡胶垫片	200片	
				螺栓带帽	1600～2400个	
				镀锌铁线		

每公里供电线路数量参考表 表1-17

使用条件	名称	型号	标称截面(mm)	数量(m)	附注
洞外高压线	裸体线	LJ硬铝绞线 LGJ钢芯铝绞线	35～120	4000	架线所用电杆横担及金具等规格数量按需要配备
洞内固定线路	动力照明电源线	BLV或BBLX(500V)	16～70	4000	三相四线
	成洞照明电线	BLV(500V)	10～25	2000	
	电缆	VLZ四芯500V或ZLL	3X4－1X2.5～3X185＋1X50	1000	长隧道6000V以上高压电进洞应用铠甲电缆
洞内临时线路	电线	XG二芯500V或RVB	10～25	300～500	
	电缆	VLV500V～6000V	3X4＋1X2.5～3X185＋1X50	300～500	

第三节　施工计划的变更

14.施工计划变更的前提是什么?

答:1)当施工条件发生变化时,就其变化的内容和程度,研究能确保安全、经济、合理的对策,以此确定是否变更施工计划。在施工条件发生变化的场合,存在两种可能情况:一是因其内容变化,有必要根据有关规定变更进行相应处理的情况;二是因其程度的变化,当采取辅助办法就能基本继续维持当初计划的场合。对于后一种情况而言,因为一般施工法一旦被变更,大多会给整个工程带来很大的影响,所以若能使用相应的辅助施工法是更合理的;然而,当遇到大规模的程度变化时,有时变更施工法也是很合理的。

2)按当初施工计划执行,如与确保安全发生矛盾时,要迅速变更施工计划。隧道工程的初步设计,由于是从地质调查的结果对山体条件推断而进行的标准设计,因此必须在施工阶段,根据观测和测量结果按需要进行相应的变更。当支护发生有害变形时,必须马上进行加固,以利努力确保安全和防止事故。所以,要根据需要迅速变更施工计划,以适应客观存在的现实。

15.施工计划变更一般包括哪些方面?

答:1)施工方法的变更。施工前虽然仔细地进行了调查,但作为隧道工程的特点,要想把隧道全长的地质及其他条件完全预测准确是困难的。施工中发现地质条件比预计的更坏,以及涌水增加等场合无论如何是难免的,在根据对围岩状态的观察与量测,判断出当前施工方法不能确保安全时,或判断出对周围环境产生显著恶劣影响时,技术负责人在认定正在进行的施工方法不适合现场情况时,应以安全为主旨,一方面采取应急措施,或暂时停工,同时要毫不迟疑地改变施工方法。

2)施工组织的变更。实际施工进度会因施工方法的改变、材料供应的滞后、工程内容的增加、围岩条件的恶化等因素，与计划进度有较大出入，有时会严重影响按期竣工。隧道施工管理人员一旦发现此类事件苗头，应分析问题的关键所在，通过调整人员、设备、材料的分配，或改变施工组织方式，尽量保证按期完工。

3)环境保护对策的变更。环境保护包括周边环境对策和洞内作业环境管理。虽然通过对周边环境和地层条件的调查，就影响周边环境的噪音、振动、枯水、地基变形、排放污水、交通障碍进行了预测并制定了对策，对洞内的空气环境、温热条件、能见度环境、声音环境等作出规定和采取措施，但事关人们生存环境和身体健康的大事，应慎之又慎。一旦发现有遗漏或措施无效时，要及时采取补救。

4)异常、紧急时措施的变更。异常气象时的措施指对大雨、强风、雪崩、雷击、地震、海啸等自然灾害的情报收集、报警、减灾、恢复作业等；洞内紧急时的措施指隧道内发生火灾、出现可燃气体、造成缺氧现象采取的预测、防止、避难、救护等。不论自然灾害还是洞内灾害其规模和造成的损失都是事前难以预计的，作为亡羊补牢、防范于未然，对其措施加以完善也是非常必要的。

第二章　安全卫生管理

第一节　安全卫生管理体制

16. 安全卫生管理体制怎样构成?

答:为确保隧道施工安全,要将参与隧道施工的承包者构成为整体的安全卫生管理体制,以利于在此基础上推动其指挥运作。由工程承包人和有关承包人构成的,与经营组织相关的安全卫生管理体制,可参考图 2-1 所示的安全卫生管理体制示例。

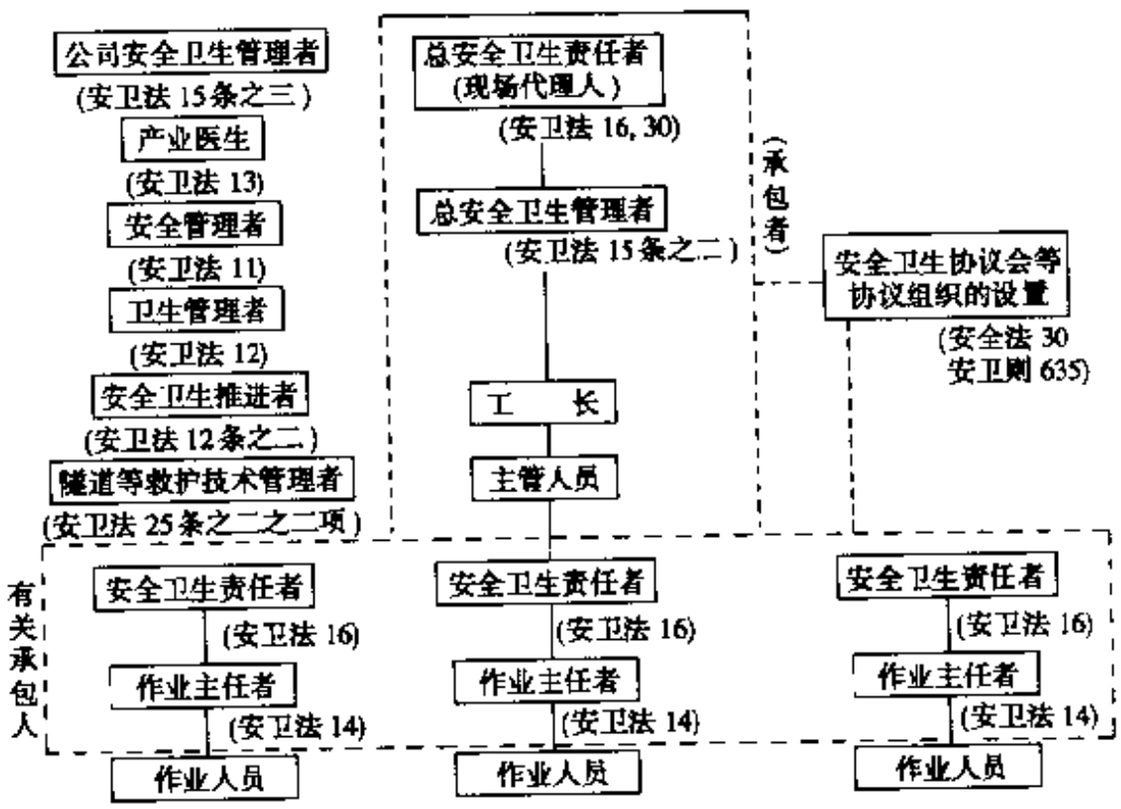


图 2-1　安全卫生管理体制示例

一般的施工现场，多是在承包人以下有各种相关承包人，相互关连而进行混合作业，这就往往会因不能充分进行相互联系及调整而发生灾害。为了防止这类灾害，各种有关承包人除作为各个经营者而进行的管理以外，还必须将现场建成整体的统一的管理机构。这一系列有组织的安全管理就是"统一管理"。应进行统一管理的人，虽然为工程承包者，但在施工现场应主要由其义务履行者、有施工管理的责任和权限的现场代理人担任。

17. 安全卫生管理体制成员的职责是什么?

答：为防止工程承包者和有关承包人因在同一场所进行作业而发生劳动灾害，即要使所有业务组织指挥系统和安全管理命令系统单一化，又必须要明确各层管理人员的任务和权限、责任[2]。

1)总体安全卫生负责人。指承包者作为总承包人在施工现场履行全部总体管理的现场代理人。他进行总体安全卫生管理的事项如下：

①指挥总安全卫生管理者、隧道等救护技术管理者；

②进行协议组织的设置和运营；

③进行作业间的联络和调整、巡视作业场所；

④指导和帮助有关承包人对作业人员的安全卫生教育；

⑤制定有关工作的工程计划以及在作业场所内的机械、设备等的配置计划；

⑥对有关承包人所作的作业计划进行指导；

⑦统一重型机械的运转联络信号、异常时的警报、避难训练的实施方法等；

⑧其它必须事项。

2)总安全卫生管理者。是指辅佐总体安全卫生负责人的人。职责是在总体安全卫生负责人的实施事项之内，管理有关安全和卫生的具体事项。

3)安全卫生负责人。指有关承包人的经营者或其选任的工作人员。职责如下：

①负责与总体安全卫生负责人联系,并就所联系的事项向有关人员通告;

②管理与总体安全卫生负责人联络事项的实施;

③就作业计划等与总体安全卫生负责人进行协调;

④确认有无混杂作业的危险因素;

⑤与下一级有关承包人的安全卫生负责人进行联络和协调。

4)公司安全卫生管理者。指从管理现场作业人员的用人单位选派的安全卫生管理者。职责如下:

①对现场总体安全卫生负责人进行指导;

②巡视现场每月1次以上;

③掌握现场的施工状况;

④随时参与现场协议组织;

⑤确认工程计划及机械、设备配置计划。

5)安全卫生推动者。指有资格担当安全卫生业务的专业人士。职责如下:

①检查设施、设备等的使用状况、提出需采取的必要措施;

②检查作业环境(包括作业环境测定)以及作业方法,提出需采取的必要措施;

③进行健康诊断、确定保持增进健康的措施;

④进行安全卫生教育;

⑤制定异常事态的应急措施。

⑥调查劳动灾害原因、确定防止再度发生的对策。

⑦收集安全卫生信息、统计劳动灾害、疾病等记载。

⑧向有关行政机关提交关于安全卫生的各种报表等。

6)隧道等救护技术管理者。在隧道等工程中,发生爆炸、灾害等情况前后期间,对作业人员救护措施的技术事项进行管理的人。职责如下:

①配备与管理救护事项必要的机械等;

②进行有关救护事项的训练;

③有关其它作业人员的救护的必要事项。

18.安全卫生管理体制中承包人的责任是什么?

答:1)不论是工程承包者还是有关承包者共同应尽的责任有:
①防止因机械设备、爆炸物等引起的危险;
②防止因开挖等引起的危险坠落;
③有关健康障碍防止、建设物的保护、健康的维持增进等;
④防止因作业行动所发生的劳动灾害;
⑤危险紧急时中止作业和退避;
⑥确保重大事故发生时的安全和救护等措施;
⑦作为用人单位应采取的措施;
⑧作为机械等出租者等应采取的措施等;
⑨作业环境测定。
2)工程承包者还需尽的责任有:
①作为总承包者应采取的措施;
②选任总体安全卫生责任者(包括总安全卫生责任者);
③作为建筑物出租者应采取的措施;
④计划的申报等。
3)有关承包者还应尽的责任有:
①有关承包人应采取的措施;
②选任安全卫生责任者(包括作业主任者);
③有关救护的措施;
④安全卫生教育;
⑤就业限制;
⑥关于中高龄人等的关照;
⑦作业管理和健康诊断。

19.在安全卫生管理体制中承包人应采取哪些措施?

答:1)作为总承包者的工程承包人,为了防止在同一场所进行作业而发生的劳动灾害,须采取必要的措施有:
①进行协议组织的设置和运营;

②进行各作业间的联络和调整；

③巡视作业现场；

④指导和帮助有关承包人对作业人员的安全卫生教育；

⑤制定有关工作的工程计划、使用的主要机械、设备以及临时设备的配置计划。

⑥指导承租者制定车辆、施工机械、起吊机等的作业计划；

⑦力求将有关起重机等的运转信号、现场事故的标志、有机溶剂等容器的集装地点、警报、疏散等实施方法统一起来。

2)有关承包人对其作业人员，须作不违反法令、纠正错误的指导和指示，同时基于总体责任的义务规定，具体措施如下：

①限制不具备法定资格者就业；

②对参与法定危险有害业务的作业人员进行特别教育；

③安排具有法定作业资格且能胜任者为作业主管或作业指挥；

④配置适当的、全过程的安全监督人员；

⑤确保进场机械的安全标准以及法定检查的实施；

⑥保证作业人员定期健康诊断以及特殊健康诊断的实施；

3)总承包者、有关承包人对其作业人员在一定的危险场所进行作业时，除给予技术上的指导外，必要的措施还有：

①预防出现土砂等崩塌可能形成的危险；

②防止大型土石方机械或移动式起重机发生倾翻事故；

③禁止靠近架空带电电路可能触电的作业；

④避免明挖法作业时损坏地下埋设物、挡土墙等。

第二节　安全卫生管理内容

20.施工设备管理应采取什么安全措施?

答:在施工现场，大多数情况下，都要将施工用的临时设备提供给众多的作业人员使用，使用设备的有关承包人，因对这些设备

不具有进行充分管理的权限，故在劳动灾害的防止方面就存在难以采取必要措施的情况。因此，作为具有设备管理权限的拥有者，按规定必须采取必要的安全措施。如：

1)轨道装置的安全措施

①按表 2-1 所列车辆重，对应选取钢轨重量值；

钢轨重量与车辆重量对应表　　表 2-1

车辆重量(t)	<5	5~10	10~15	>15
钢轨重量(kg)	9	12	15	22

②钢轨接缝必须按照使用接头板、进行焊接等牢固固定；钢轨的铺设必须紧固在枕木、混凝土道床等上面；枕木在易腐蚀的地方必须采用具有耐久性的，其大小及配置间距必须适合车辆、道床的状态；

③轨道的曲线半径须采用 10m 以上，要确保适当的超高和轨距加宽值，并根据曲线半径设护轮钢轨；在使用动力车的区间，轨道坡度必须采用 5%以下；

④轨道的分岔点要设有可靠功能的转辙及辙叉，轨道的终端要设置可靠的刹车制动装置；在车辆可能逸走处必须设置逸走防止装置；

⑤动力车须装备汽笛、警铃等联合信号装置以及前照灯；电气机车要装自动断电器，内燃机车要装备润滑油压力显示仪器；

⑥车轮在最大磨耗状态下，其宽度保证接触面仍然安全地骑在钢轨的宽度上，其翼缘厚度要小于不妨碍通过分岔和辙叉的厚度，其翼缘高度要保证车辆不脱轨且不压在接头板和辙叉的高度；

⑦牵引车辆的卷物装置必须装有使车辆迅速停止、保持停止状态的制动器；用于牵引的钢丝绳要具有 6 以上的安全系数，不得有明显的变形或腐蚀现象，直径减少不得超过公称直径的 7%，被切割的钢丝数要少于单股钢丝绳的 10%。

2)隧道模板支撑的安全措施

①用于隧道模板支撑的材料不得有明显损坏、变形或腐蚀现象；

②隧道模板支撑采用的结构，必须是牢固的，适合对该隧道模板支撑加的荷载，并顺应模板的形状。

3)电动机械器具的安全措施

①对地电压超过150V的有电动机的机械或器具，必须在该电动机械器具所连接的电路中，连接适合该电路的额定、灵敏度良好且可靠动作的触电防止漏电断路装置；

②在2m以上高度的场所进行交流弧焊机操作的作业者，有触电坠落可能时，必须使用交流弧焊机自动电击防止装置；

③在采用前述规定措施有困难时，必须把电动机械器具的金属外壳、电动机金属外壳按规定方式接地后，才能使用；使用一芯专用接地线连接电动器具和接地极(或接地端子)，要防止接地线和连接电路的电线混用以及接地端子和连接电路的端子混用；接地极要按充分埋在地下的方法确实与大地连接；

④电气机械器具的充电部分或者靠近有触电危险的部分，必须设置栏杆或绝缘盖；

⑤为了防止触电或误操作造成的危险，必须对电气机械器具的操作部分保持必要的照度；对于连接移动电线的电灯要采用手不容易触到电灯泡、灯头露出部分的结构，其材料要采用不容易破损或变形的；

⑥劳动者在作业、通行之际接触成可能接触的配线和连接器具的绝缘覆盖，如有损坏、老化现象必须采取防止发生触电危险的措施，对于因水及其它电性高的液体不具有绝缘效果的不得使用；

⑦进行停电作业时，对断路的开关要上锁，或标示有关禁止通电的所需事项，或设置监视人员；断开的电路要使用安全方法让残留电荷确实放电；

⑧如断开是高压或特别高压电路，须用测电器确认停电，并要使用短路接地器具确实进行短路接地；断开的电路通电时，应预先确认对从事该作业的劳动者无触电危险发生，否则不得卸下短路接地器具。

4)隧道支撑的安全措施

①用于隧道支撑的木材应是红松、黑松及其它富有韧性的、强度没有明显缺陷的原木，如有裂缝、虫蛀、疤节、纤维倾斜等不得使用；

②隧道支撑结构必须采用与该隧道围岩(地质、地层、含水、涌水、裂缝及浮石等)状况及开挖方法相适合的坚固的支撑结构；必须按标有支撑杆件配置、尺寸及材质的设计图进行架设；

③装配隧道支撑时，构成主材的一组杆件要放在同一平面内。木支撑的各杆件紧压程度要均匀，脚部使用垫板防止其下沉；钢拱支撑要采取打入楔子等措施充分发挥拱作用，并用拉杆、系梁、斜撑等牢固连接各主材拱；

④拆除已受荷载的隧道支撑杆件时，须采取措施将荷载转移到其他支撑、支护上，否则不得拆除该支撑杆件；

⑤每天和中等以上地震后检查支撑杆件的损坏、变位、变形、腐蚀、紧压情况，检查杆件的连接、交叉和脚底部位的状态，必要时立即采取加固、修补等措施。

5)脚手架的安全措施

①钢管脚手架的钢管和紧固件的材质须是轧制钢材、锻钢或铸钢品。钢管的张拉强度与伸长量见表2-2，壁厚是外径的二十四分之一以上；直角紧固钢管的紧固件在两倍最大荷载作业下，其滑动量为10mm以下；

脚手架钢管张拉强度与伸长量对应表　　表2-2

张拉强度(MPa)	380～400	400～510	>500
伸长量(%)	>25	>20	>10

②根据脚手架的结构和材料，确定作业平台的最大荷载量，并让劳动者周知最大载荷量；

③装有脚轮的移动式脚手架，为防止突然移动，要采取制动器、刹车等使脚轮固定在坚固的建设物上；采用铁件底座、垫板、垫脚、扫地杆等防止脚手架滑动或下沉；

④脚手架必须按图进行组装，组装图必须表示出支柱、作业平台、梁、横梁等杆件底配置及尺寸；形成的作业构台要求是没有明显扭曲、挠曲变形的结实结构，否则不能使用；

⑤在脚手架 2m 以上的作业场所，必须设置作业平台。其材料根据支点间隔和作业荷量计算的弯曲应力值，不超过表 2-3 所列的容许弯曲应力值；脚手架板要架设在三根以上的支撑物上，板的支点伸出长度要 10cm 以上、十八分之一板长以下；

材料脚手架板的容许弯曲应力值表 表 2-3

木 材 种 类	容许弯曲应力值(MPa)
红松、黑松、落叶松、罗汉柏、丝柏、美国黄松、美洲花柏	13.5
柳杉、枞树、针枞、椴松、美国杉木、美国铁杉	10.5
橡树	19.5
栗木、柞树、山毛榉树	15
用酚醛树脂粘结羯布罗香木或卡泡尔的胶合板	16.5

⑥在开始作业前，要检查支柱脚部的滑动及下沉状态，检查支柱、梁、斜撑、拉杆等紧固部、连接部及装配部的松动状态，检查作业平台的桥面和扶手架设状态，同时要检查上述构件是否损坏、腐蚀、脱落。确认异常时必须立即修补。

必要的安全措施与工程规模的大小和现场作业人数无关，是承包人必须彻底执行的。虽规定了总承包者应承担的总体责任，但是各个相关承包人在法律上所担负的责任是不能因此而逃避得了的。

21. 劳动卫生管理应采取哪些对策？

答：隧道施工中应防止对作业人员健康的危害，并大力进行健康管理。洞内产生的粉尘等有害物及噪音的扩散，会严重地危害健康。此外，振动机械、工具的应用也很多，对健康也是有害的。为了掌握作业人员健康状态，除定期检查健康外，还应进行适当的卫生教育和健康指导，经常关心作业人员的健康管理。作业进行中，必须特别注意危害健康的事项及其防止对策有下列各点：

1)关于粉尘

①在隧道施工中，如钻孔和放炮、机械开挖、装碴、弃渣、喷混凝土、电焊等作业，会产生大量岩石的微小粉末、喷混凝土的粉尘、柴油机排出的煤烟等，称为浮游粒状物资，长期吸入此种粉尘就有可能得矽肺病。为了整顿和改善作业环境，最好定期测定粉尘浓

度以掌握实情。日本产业卫生学会对矿物质粉尘的容许浓度给出表 2-4 所示的劝告值。

粉尘的容许浓度表　　表 2-4

粉尘种类	粉尘内容	容许浓度(mg/m³)	
		吸入性粉尘	总粉尘
第一种粉尘	滑石，腊石，铝，矾土，硅藻土，硫化矿，硫化烧矿，膨润土，高岭土，活性碳，黑铅	0.5	2
第二种粉尘	含游离二氧化硅不到10%的矿物性粉尘，氧化铁，碳黑，煤，氧化亚铅，二氧化钛，水泥，石灰石，大理石，线香材料粉尘，谷粉，棉尘，木粉，革粉，软木粉，酚醛塑胶	1	4
第三种粉尘	其他无机及有机粉尘	2	8
石棉粉尘	石棉瓦，长纤维石棉，透闪石，直闪石，阳起石	时间荷重平均 5μm 以上的石棉纤维为 2 纤维/cm³(与此对应的石棉粉尘的重量浓度为 0.12mg/m³) 最高值 5μm 以上的石棉纤维为 10 纤维/cm³(任何情况下 15cm 的平均浓度均不得超过此值)	

其中：游离二氧化硅含量占 10%以上的粉尘用下式计算：

$$\text{吸入性粉尘容许浓度} = \frac{2.9}{0.22 \times Q + 1} \quad \text{mg/m}^3$$

$$\text{总粉尘容许浓度} = \frac{12}{0.23 \times Q + 1} \quad \text{mg/m}^3$$

Q——粉尘中游离二氧化硅含量(%)。

注：(a)吸入性粉尘：通过具有下列粉粒特性的分粒装置的颗粒称为吸入性粉尘：

$$P = 1 - \frac{D^3}{D_0^3} \qquad (D \leqslant D_0)$$

此处，P 为通过率，D 为粉尘的相对沉降径(μm)，D_0 为7.07μm；

(b)总粉尘：在捕尘器入口处流速为 50～80cm/s 时所捕集的粉尘称为总粉尘；

(c)粉尘的容许浓度为按游离二氧化硅含量占 10%以上的粉尘及第 1 种、第 2 种、第 3 种粉尘测定法测定的浓度；

(d)石棉粉尘的测定用膜滤法或 X 光衍射法，或用其他可以折算为这两种方法测定位的方法。

②粉尘对策中，最基本的是应在发生源处防止粉尘发生，具体如下：

钻孔机械尽量选用湿式设备；

爆破后的渣石用洒水器或软水管洒水；

运输通道表面进行洒水、撒盐碱、铺砌等；

采用湿式喷射混凝土方式、或遥控操作喷射机、或使用减少粉尘发生的添加剂。

③但对那些在发生源处无法处理的粉尘，就有必要采用以集尘机等捕捉和排除以防止其扩散，进行充分的通风，用新鲜空气稀释等措施。集尘器要选用对造成矽肺、粒径 7.07μm 以下的吸入性粉尘能有效处理的机种和形式。但集尘器不是总能有效地吸引隧道内所有产生的粉尘，因此在迅速将粉尘集中到集尘器入口的同时，要做到与换气容量适应才行；换气设备必须综合隧道规模、施工方法以及开挖进展状况，经常维持在适当的状态，并选用最合适的强制换气方式；

④即便采用了以上措施还不能彻底解决时，就有必要研究是否采用个人防护面具，或缩短在粉尘中的作业时间等办法。劳动者有义务自行使用防尘面具，防尘面具的过虑器要按时更换使用；

⑤对要从事有粉尘作业的新雇员，一定要直接询问本人就业经历（隧道工程等粉尘作业经历）、健康状况（过去矽肺检查受诊状况）；新老从事有粉尘作业的人员必须接受就业时的健康检查，在从业期间必须接受每年两次的健康诊断；被确认不适合从事粉尘作业的人员，要让其从事非粉尘作业，当与作业员的意见不统一时要解除雇用合同；

⑥有关矽肺的健康管理。一要就矽肺对策作反复的特别教育，要防止患者病情的发展而力求彻底佩带防尘面罩；二要全部实施适当的健康诊断以及按管理区分进行作业调换，力求事后的彻底处理。

2）关于噪音

①噪音妨碍会话和声音联络信号，干扰洞内外的安全作业；长

期呆在噪音环境中对人的生理机能会造成恶劣影响，如产生不快感、造成噪音性重听、引起听力严重下降。噪音分贝越高、暴露时间越长，危害越严重。此外，当音量相同时，高频音比低频音的危害更大。日本产业卫生学会为保护听力而定出的噪音容许标准，见表 2-5 所示。

保护听力的噪音容许标准表　　表 2-5

声源周波数	容许倍频带水平(dB)					
	480 分	240 分	120 分	60 分	40 分	30 分
250	98	102	108	117	120	120
500	92	95	99	105	112	117
1000	86	88	91	95	99	103
2000	83	84	85	88	90	92
3000	82	83	84	86	88	90
4000	82	83	85	87	89	91
8000	87	89	92	97	101	105

注：在一天 8 小时内经常暴露而连续 10 年以上的情形下，听力损失最好这样拟定：可听周波数 1000Hz 以下时为 10dB 以下，2000Hz 时为 15dB，3000Hz 以上时为 20dB 以下。

②选择噪音低的机械器具、装置及作业方法，是防止噪音危害的基本对策，比如在掌子面钻孔使用空压凿岩机的噪音大体为 110dB 左右，而使用油压凿岩机就会减少约 10～20dB。对成为噪音源的设备和机械在盖子、顶棚和箱壁等使用适当的吸音材料、或装备适当的消音装置以降低噪音危害，比如采用全自动油压台车等机械手之类的方法，将作业者和噪音源相隔离。

③在暴露时间长，可能引起噪音性重听的洞内作业，必须减少

作业员的噪音暴露。如从事钻孔、装渣等发生明显噪音等作业的作业员，应适当地选用耳塞等保护用具。

④定期测定作业环境的噪音等级，在发现有可能发生噪音危害场所的同时，加强管理监视。定期进行作业人员的听力检查，研究作业环境和使用保护器具存在的问题，及时加以改善。进行降低洞内噪音等级和减少暴露量的作业方法教育，强调作业人员必须使用隔音保护用具，提高其自我保护意识。

3)关于振动

①在洞内大量使用像凿岩机之类产生振动的机械和工具，其产生的振动会传到作业人员的手和腕处，除引起手骨和关节的变形障碍，还会引起血管运动、神经末梢障碍等方面的疾病。在掌子面使用的机械和工具，因全自动油压凿岩机和锚杆安装等的开发在发生变化，成为振动障碍防止对象的机械和工具虽有减少，但在使用手持式凿岩机时必须采取防止对策。

②选用振动尽量轻微、或附设有效防振装置的机械和工具，是防止此类振动危害的对策之一。选定机械工具为内藏式的内燃机的振动小的设备，即从使用作用点所发生的振动难以传递到发生部分以外那样的机械和工具。使用手持式凿岩机、风镐锤等振动工具时，既要使用装有防振装置(防震橡胶)的配套设备，而且还要佩戴防振手套。

③规定振动业务作业时间及连续作业和休息时间的分配，对操作时间进行管理，是防止此类振动危害的对策之二。在一天中，从事有振动作业时间(除休业时间)要在 2h 以内。同时在拟定具休作业计划时，应对振动作业的工作时间进行适当安排。

④在就业上岗时、及隔 6 个月后，进行有关振动障碍的特殊健康的准确诊断，进行健康管理，是防止此类振动危害的对策之三。让作业员从事有振动作业或变更机械工具时，要进行振动对人体的影响、正确操作的方法、有关振动障碍预防的安全卫生教育。

22.作业环境测定哪些项目?

答:为了确保和维持安全而卫生的作业环境,就必须正确掌握各种作业环境的实态。根据表2-6示的洞内环境测定项目进行环境的测定。其后,依据测定结果采取适当的措施。对于测定结果,必须记录并保存日期、场所、条件、测定者等。

洞内环境测定项目一览参考表　　表2-6

测定的作业场所	测定的频率	测定的项目(容许值)
洞内滞留或可能滞留二氧化碳	每1个月以内1次	空气中的二氧化碳浓度(<1.5%)
洞内气温超过或可能超过28℃	每半个月以内1次	气温(<37℃)
洞内有通风设备	每半个月以内1次	通风量
洞内有缺氧危险	各作业开始前	空气中的氧气浓度(>18%)
明显散布粉尘的洞内或屋内	每6个月以内1次	空气中的粉尘浓度
发生显著噪音的洞内或屋内	每6个月以内1次	等价噪音等级
洞内可能出现可燃气体	作业开始前,地震后或异常时	可燃气体的浓度

23.对隧道作业人员有怎样的选配要求?

答:在隧道施工中必须在充分掌握作业员的能力后进行配置,对于未熟练者、中高年龄者的配置,要努力按照作业员的业务经

验、能力、身心状态作适当的配置。必须按各类作业、各种机械类别选择和配置所规定的有资格者进行作业。对于有资格者，要在确认各作业区分、各机要类别等所规定的资格的内容和种类之后，努力给予配置和补充。为了防止灾害，对作业者进行必要的管理时，要按作业的区分从获得许可证者、技能培训结业者中选举作业主管者，直接对作业者进行指挥等。作业主管者业务、资格一览表，参见表 2-7。

作业主管者业务、资格一览表　　表 2-7

应选任配置者	业务内容	具备资格
气焊作业主任者	在隧道内用可燃性气体及氧气进行金属焊接、焊割或加热的作业	许可者
木材加工机械作业主任者	使用圆盘锯机、带锯机等木材加工机械进行的作业	技能培训结业者
隧道掘进作业指挥者	围岩开挖、弃渣装运、临时支撑、锚杆安装和混凝土喷射等作业	必须获许可
爆破作业指挥者	导火线爆破作业或电爆破作业	技能培训结业者
临时支撑作业主任者	水平撑或横撑的安装、拆卸作业	技能培训结业者
喷射混凝土作业主任者	喷射混凝土喷射作业	技能培训结业者
车辆系统装卸搬运机械作业指挥者	使用车辆系统装卸搬运机械进行的作业，	技能培训结业者
隧道衬砌作业主任者	模板支撑的组装、移动、解体、混凝土的浇筑等作业	必须获许可

续上表

应选任配置者	业务内容	具备资格
模板支撑的组装等作业主任者	模板支撑的组装或解体的作业	技能培训结业者
脚手架的架设等作业主任者	高度在5m以上的脚手架的组装、解体或变更的作业	技能培训结业者
混凝土泵、车的输送管等的组装等作业指挥者	输送管等的组装或解体的作业	技能培训结业者
缺氧危险作业主任者	缺氧危险场所的作业	技能培训结业者
停电、带电导线或邻近带电导线作业指挥者	停电作业或高压、特别高压线路的带电导线或邻近带电导线作业	技能培训结业者
采石开挖作业主任者	开采石料面高度在2m以上的岩石的开挖作业	技能培训结业者

24. 隧道施工作业人员须周知哪些事项?

答:为排除作业人员在隧道施工的不安全行动,须参照表2-8的劳动安全卫生周知事项一览表,进行教育使之熟知。

劳动安全卫生周知事项一览表 表2-8

周知的事项	周知的对象	周知的内容
作业主管人员	相关作业员	作业主管的姓名,从事的事项
车辆系统货物装卸搬运机械	相关作业员	运行路径、作业方法
轨道上的信号装置	相关作业员	信号装置的显示方法
轨道装置的运转	相关作业员	有关运转的联络信号的方法
载人的轨道装置	相关作业员	搭乘客员数
停电作业或特高压带电接近作业	从作业指挥者到相关作业者	作业的时间、内容、程序,电路操作、邻近的电路系统
隧道或竖井内气焊、气割或加热作业	从作业指挥者到相关作业者	消防设备的设置场所及使用方法

续上表

周知的事项	周知的对象	周知的内容
隧道或竖井内电焊、电器设备的场所	相关作业员	消防设备的设置场所及使用方法
隧道的警报设备	相关作业员	警报及通话设备的设置场所
隧道的避难用器具	相关作业员	携带用照明器具、其它避难所需器具的设置场所及使用方法
隧道的运输作业	相关作业员	运行线路，装卸场所的进出方法
脚手架的组装、解体或变更的作业	作业员	作业平台的最大装载荷重、组装、解体或变更的时期、范围以及程序
作业平台的组装、解体或变更的作业	直接从事的作业员	组装、解体或变更的时期、范围及程序

25.火药类如何安全管理？

答：1)建立火药类安全管理体制，参见图 2-2。

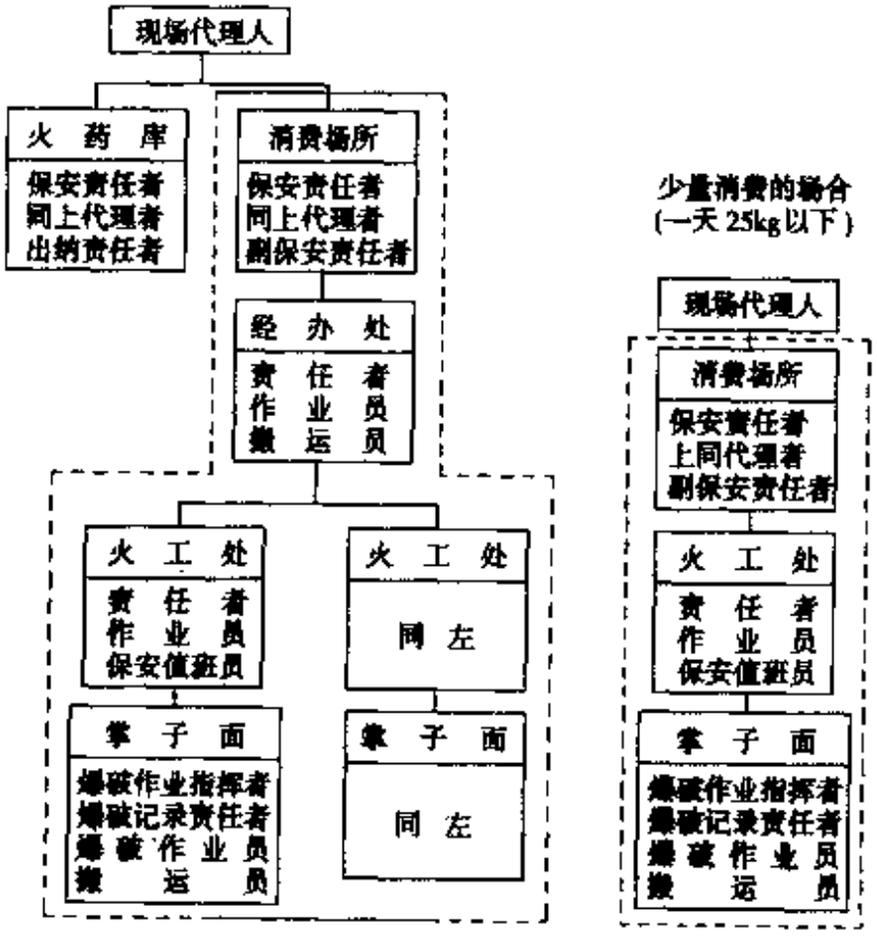


图 2-2 火药类安全管理体制(例)

2)配置有资格的火药管理、使用人员,参见表2-9。

火药类从事人员资格及配置表 表2-9

类别				安全记事本(黑)持有者	作业记事本(蓝)持有者	作业记事本(黄)持有者
安全管理者的选派	火药库	安全责任人	火药类经管责任者	选任		
			火药类经管安全责任者的代理者	选任		
		出纳责任人				指定
	消费场所	安全责任人	火药类经管责任者	选任		
			火药类经管安全责任者的代理者	选任		
			火药类经管安全责任者的选任者	选任		
		经管处	责任者		指定	
			作业者		指定	
			搬运员			指定
		火工处	责任者		指定	
			作业者		指定	
			安全值班员			指定
		掌子面	爆破作业指挥员		指定	
			爆破记录责任人		指定	
			爆破作业员		指定	
			搬运员			指定
火药类使用者	身分确认			履历、病历、健康状态		
	资历			从事火药类施工作业经历,受过安全教育和培训的记录,安全记事本、作业记事本副本		
	识别措施			佩带明显标志		

注:安全记事本(黑),授与有火药类经管处许可证者的火药类安全记事本;
作业者记事本(蓝),给与具有爆破工程师许可证者的火药类操作从事者记事本;
作业者记事本(黄),给与不具有爆破工程师许可证者的火药类操作从事者记事本;

3)对使用操作者反复地实施安全教育。有关火药类使用的安全教育项目如下:

①提高安全意识;

②防止被盗及其火药类的管理;

③有关火药类一般性质的要点;

④有关火药类的贮存、消费的技术标准;

⑤有关危险时的应急措施。

有关火药类使用的安全教育的种类有:

①定期教育。每3个月对所有有关火药的管理者、作业者进行综合教育;每1个月针对在掌子面、火药库、火工处等场所作业者进行重点教育;

②雇入时教育。没有受过火药类教育的人,不准从事火药类使用作业;

③施工时教育。在爆破作业开始前重新对有关从业者进行教育;

④计划变更时教育。每次变更爆破作业计划时,对有关作业者进行教育。

4)明确火药类安全管理者的职责范围:

①安全记事本(黑)的持有者可指定使用从事者;从事者记事本(蓝)的持有者,可指定持(黄)记事本者司职工作;使用从事者,根据火药类管理的状况,可兼职;

②爆破作业员(包括安全值班员)是指包括经管处、火工处、掌子面以及弃渣场的区域作业者。因为必须要对瞎爆残留药进行检查,所以消费场所要包括弃渣场;

③经管处责任者在经管处所进行的火药类出纳业务、对所经办的火药类有无异常的检查、对经管处实行维护管理等;

④火工处责任者在火工处进行火药类的出纳业务、起爆药包制作、炸药包的加工,并实行对火工处的维护管理等;

⑤爆破作业指挥者对火药类使用操作和爆破作业进行指挥和监督。

26.哪些隧道施工场所需采取禁止入内措施?

答:在隧道作业中采取严禁入内措施,是极力排除与各作业所用的机械、设备、有害物、危险物等和作业员的接触的安全措施。禁止进入危险场所要用适当的警示等标识,使有关人员遵守。各作业场所采取的具体措施参见表2-10所示。

禁止入内的措施等一览表 表2-10

作业种类	适用场所	禁止入内对象
车辆系装卸运输机械等	叉架、铲斗、悬臂等或由它们所支承的货物的下边	全体作业员
洞内搬运车的装卸	运输中有接触危险的场所	非本职作业人员
洞外开挖	因围岩崩坍或土石坠落有可能给作业人员造成危险的地方	非本职作业人员
模板支撑的组装或脚手架的组装	进行安装和拆卸的区域内	非本职作业人员
混凝土泵车操作作业	有混凝土喷出危险的作业场所	全体作业员
作业台的组装、拆卸或移动	进行作业的区域内	非本职作业人员
危险物品使用特别危险的场所	有火灾或爆炸的危险场所	非本职作业人员
缺氧危险作业	缺氧危险作业场所或其邻近的地方	非本职作业人员
卫生上有害的作业	缺氧和气体、蒸气、粉尘的发散等卫生上有害的场所	非本职作业人员
隧道开挖作业或支撑加强、补修作业	浮石落下或有可能发生浮石落下的地方,加固或修补作业的地方,有塌顶、剥落的危险地方	非本职作业人员

续上表

作业种类	适用场所	禁止入内对象
洞内可燃性气体的浓度达到爆炸下限临界值的30%以上时	直到确认不到爆炸下限临界值的30%	非本职作业人员
有坠落危险的地方	由于坠落而造成的危险场所	非本职作业人员

第三节　安全卫生管理活动

27.如何制定安全卫生管理计划?

答:制定安全卫生管理计划是为促进无浪费、不勉强、均衡施工而进行安全卫生的管理。因此安全卫生管理计划必须要以现场条件、其它各种调查结果为基础,研究工程内容、设计内容、施工条件等,根据最适合其现场的施工方法等来制定。

编制计划要注意的基本事项如下:

①充分掌握施工内容,以安全性、施工性、质量保证、预算控制等为基础研究具体管理内容;

②编制计划时要掌握与施工内容有关的各种法律、法令限制,做到无遗漏、不违背;

③与本单位各部门紧密联系、协调后,确定编制计划的内容和主要旨意。一般需召开事前会,就有关部署、计划内容等进行研讨,要力求意见一致和内容充实;

④计划作为大框架,应反映出全部工程的施工方针、各项具体工程的施工计划,使安全卫生管理工作能按顺序进行;

⑤编制的计划应能随施工进展出现的变更及时修正。引起变更的主要原因有:结构问题、材料问题、技术问题、环境问题等。尤其是隧道开挖中,根据每天的观察、检查、可燃性气体等的浓度测

定等，有许多需要修改的情况，须迅速将其变更成能适应相应状态下的施工、安全卫生管理计划，以利计划顺利实施。

编制的计划书应包括的主要内容如下：

①安全卫生管理基本方针(年度安全卫生管理重点实施计划)；

②安全目标及安全卫生重点对策；

③安全活动计划；

④安全卫生规章；

⑤紧急时联络系统图；

⑥防火管理组织编制表；

⑦自卫消防组织编制表；

⑧防火管理检查标准；

⑨其它。

为使有关人员全面了解并能灵活运用计划的主要意旨，需要制订下表：

①安全卫生管理基本计划表，见表 4-11(例)。表中要编入整个工期与工程施工网络相连的安全卫生管理重点事项和实施性的计划事项；

②安全卫生实施计划表，见表 4-12(例)。该表能反映每月工程与施工网络相关的安全卫生管理重点事项和具体的实施项目、活动仪式记录等。

28. 怎样做到安全卫生管理得以全面贯彻执行？

答：在工程中由作业员的违章操作造成的灾害和事故占相当部分，作为最重要的对策，应以遵守作业标准为基本，从安全技术的观点密切结合施工技术进行安全教育。这项工作包括进场、开工前的教育和作业内容变更时的周知事项。

对作业员的教育包括以下内容：

①机械、原材料等的危险性或有害性以及它们的使用方法；

②安全装置、有害物控制装置或保护器具的性能以及它们的使用方法；

安全卫生管理基本计划表(例)

表 2-11

工期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	1994								1995									1996								
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
正洞开挖	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—														
作业坑道开挖		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—														
正洞衬砌						—	—	—	—	—	—	—														
清渣	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—														
杂项工程												—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	清渣				作业坑道开挖				正洞开挖								正洞衬砌					洞外临时设备				
使用机械及台数	反铲2台 11t 倾卸卡车15台 沉泥装置1组				2臂液压台车1台 沙夫装载机1台 穿梭式装渣机4台 电瓶机车4台 喷射系统1套				4臂门式台车1台 2臂轮式台车1台 MT装载机1台 油压轧碎机1台 油压反铲1台				牵引装载机1台 11t 倾卸卡车4台 喷射系统1套 砂浆泵1台 混凝土搅拌车3台				正洞用滑动式拱架1台 停车带用滑动式拱架1台 混凝土泵车1台 防水板铺挂架台1座				混凝土搅拌站1套 空气压缩机1台 污水处理装置1套 进线电力配电盘2座 涡流泵2台				
工人人数(人/天)	82	77	73	73	73	73	73	79	79	79	79	79	79	79	79	40	50	51	51	29	23	23	10	10	5	5
管理重点	钢轨灾害的防止	大型车辆灾害的防止	炸药灾害的防止	落石灾害的防止	重型机械灾害的防止	电气灾害的防止	钢轨灾害的防止	大型车辆灾害的防止	炸药灾害的防止	落石灾害的防止	重型机械灾害的防止	电气灾害的防止	坠落灾害的防止	炸药灾害的防止	土沙崩塌灾害的防止	交通灾害的防止	大型车辆灾害的防止	坠落灾害的防止	电气灾害的防止	第三者灾害的防止	交通灾害的防止	土沙崩塌灾害的防止	电气灾害的防止	坠落灾害的防止	第三者灾害的防止	交通灾害的防止
实施计划事项	炸药灾害的防止				大型机械灾害的防止				大型车辆灾害的防止				落石灾害的防止				坠落滚落灾害的防止									
	由有资格者彻底处理残余炸药的完全处理 被盗事故防止 向统散场所疏散 漏泄电流的测定				由有资格者操作运行 厉行检查和维修 严守作业程序 实施安全教育 彻底贯彻联络信号 彻底执行禁止入内措施				由有资格者操作运行 厉行检查和维修 严守作业程序 严守限制速度 确保道路畅通 作业场所彻底实行慢行				危石的检查和清除 严禁进入工作面 山体的检查及其记录 穿戴安全保护器具				安全带的使用 高血压者的适当安排 恢复拆卸设备的原状 在作业主要负责人的指挥下作业					

安全卫生实施计划表(例)

表 2-12

管理方针	作业环境整顿	一月目标	重型机械车辆灾害防止	从1995年7月 工程名称:○○○隧道工程 工期:19 年 月 日~19 年 月 日	灾害统计	从1995年 月 日至现在	○○○公司	
	交通灾害的防止		电气灾害的防止		无灾害记录	从 年 月 日 以后 小时	项目经理	
	重型机械灾害防止		炸药灾害的防止		发生灾害记录从 年 月 日以后	次数	副项目经理	
	山体崩坍灾害防止				天 小时	灾害件数	负责人	
工程进度率(%)1995年 月 日至现在						死亡件数	编制者	

	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	十三	十四	十五	十六	十七	十八	十九	二十	二十一	二十二	二十三	二十四	二十五	二十六	二十七	二十八	二十九	三十	三十一	协助承包人名、其他工人数、主要机械、主要材料等的当月数
	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	
上行线作业坑道再开挖		全体日							全体日							全体日							全体日							全体日		同业者机械 工种 机型 人数
下行线正洞开挖																																
下行线正洞仰拱工程																																
衬砌																																
污水处理工作																																
洞外工程运流																																灾害防止负责人等
责任划分																																班组名 姓名
惯例事情	安全大会		安全检查日	环境测定日					安全检查日							安全检查日	环境测定日		安全教育					安全检查日		安全卫生会				安全检查日		
安全周 7/17/7 安全日 7/1																																
值班承包人																																

实施项目	重型机械、车辆灾害防止: 装载机械检查的整备状态的确认 确认严禁进入危险区的措施	电气灾害的防止: 作业程序的确认指导 标志、显示的贯彻	炸药灾害的防止: 对与炸药有关的设备的确认指导 对炸药使用状态的检查、指导 作业程序的重新评价

③有关作业程序的事项；

④有关作业开始时的检查事项；

⑤与业务有关的、并有可能发生疾病的原因以及预防问题；

⑥关于整理、整顿以及清洁的保持问题；

⑦关于在发生事故等时的应急措施以及退避问题；

⑧其它的必须事项。

对下列作业的人员需特别教育：

①用弧焊机进行金属焊接、焊割等；

②用轮式装载机转运；

③用机体重量不到 3t 的机械平地、搬运、装载；

④用单斗挖掘机开挖土石；

⑤钻孔机具凿岩；

⑥用碎石机破碎石料；

⑦隧道等的开挖作业或伴随其开挖的碴石、物资器材等的搬运、衬砌混凝土浇筑等作业。

工长直接指挥、监督作业员，是防止灾害的关键；在作业开始前，主持召开安全例会；各工长之间的加强联络，可谋求各作业间的合作。对工长教育的内容如下：

①作业方法的决定及作业员的配置；

②对作业员的指导或监督；

③作业设备及作业场所的保养管理；

④在异常时等的措施；

⑤作为现场监督者所应尽的劳动灾害防止活动。

另外，有时因承包形态的多级化、混杂作业、工程设备的公用或作业环境和作业员的更换等因素相互作用而造成灾害的发生。为了排除这种因素的相互作用，必须把安全活动列入日常业务中，并使之在施工活动中固定下来。将每天、每周、每月所进行的基本安全活动定型化，作为一个周期性工作推行。

为了掌握安全卫生管理的状况，承包者和各有关承包人，必须按安全卫生管理计划的实施内容对以下项目进行检查.

①通观总体进行检查；

②对机械和临时设备检查；

③对作业环境方面进行检查和测定；

④对作业方法、作业标准等的检查。

关于对作业环境方面的检查和测定，是以承包者的管理为主体，其中有关的方针和计划的策定，也是承包者的责任。检查和测定既是由有关承包人为主进行实施，又必须是总体地根据承包者的检查结果和预测状况，使对策得以反映。

作业方法、作业标准等的检查，是以排除不安全行动为目的，这些检查必须是由有关承包人的工长、作业主任者、作业指挥者来实施。关键是按各作业单位制定的检查基本作业标准或核对一览表等使其在施工活动中完全遵守。

29.隧道施工经常性的安全检查有哪些?

答:隧道施工中围岩、支护、作业环境、机械、设备等会产生变形和缺陷，往往由于作业习惯和工作繁忙而忽视或放任不管，以致发生意外事故。为了防止此类事故，进行经常性的安全检查是必要的。安全检查的内容随工程情况、使用机械设备等而异，需根据工程实情相应的调整增加。一般应由负责人或指定的检查人亲自检查，检查结果如发现异常情况，应立即补修或采取其他适当措施。隧道施工主要的检查项目见表2-13。

隧道施工主要的检查项目 表2-13

作业区分	检查时间	主要检查项目
撑板支撑	当天作业开始前	有无异常
挡土支撑	7天内1次和中等以上地震或大雨后	有无构件的损伤、变形、腐蚀、位移、脱落及其状态 水平撑紧压的程度 构件的连接部、紧固部以及交叉部的状态

续上表

作业区分	检查时间	主要检查项目
明挖	当天作业开始前，以及大雨、爆破、中等以上地震后	开挖坡面有无浮石和龟裂 坡面状态及含水、涌水及冻结情况的变化
隧道开挖、石碴运输、浇筑衬砌混凝土	每天以及爆破、中等以上地震后	掌子面处有无浮石和裂纹，洞壁稳定状态，涌水情况 喷混凝土有无裂纹、剥落
隧道支撑	每天及中等以上地震后	有无损伤、变形、位移、沉降及其稳定状态
作业构台	作业构台的组装、一部分解体或变更之后，作业开始前	支柱、梁、斜撑、紧固件、台面材料的有无损伤及腐蚀的状态 支柱、水平拉杆、斜撑等的安装及搭建的状态 紧固部、连接部的松弛状态，加固件、扶手等有无拆卸及脱落
缺氧作业场所	当日作业开始前	空气呼吸器、氧气呼吸器、送气罩、通风设备
防爆电气机械器具	当天开始使用前	防爆结构电气机械器具的状态以及连接移动电线的外装状态
可燃气体自动警报装置	当天作业开始前	仪表有无异常、探测部有无异常、警报装置的工作状态
机械、设备	当天作业开始前	运输路面、轨道、走行车辆、各类机械的整修状态

为了进行有效的检查，要将各对象的检查时间妥善安排，最好制出检查基准表，将检查结果按照需要加以保存。

第三章　环境保护

第一节　隧道周边环境

30.隧道施工影响周边环境应如何对待?

答:隧道施工造成的噪声污染、空气污染、振动危害、地基变形、污水排放、建筑废料、洞外交通阻塞、地下水枯竭等是影响周边环境的主要现象。为了保护周边环境,须采取如下步骤:

①预测和评价隧道施工造成周边环境恶化的可能性和影响程度。评价要以动工前的现场条件调查资料为基础,尽可能对施工影响因素限值进行定量预测,如对定量有困难的则要进行定性预测。作为调查项目,有气象调查、钻探等地质调查、有关排水处理调查、物资器材等运输路线的调查、地下埋设物之外的障碍物等调查、暗噪音和暗振动的测定等。

②分析周围地区居民承受隧道施工影响的心理状态。作为对周边环境造成影响的因素中,有技术上可解决的因素,还有基于与居民的感情觉得不谐调的因素,后者所表现出来的是从感觉上、心理上所受到的灾害。而定量的对此评价又大多是不可能的事情,再加上从社会背景和生活方式,地区居民的构成等复杂因素相互纠缠在一起,使问题变得复杂化,并常有变动的情况。因此,事前调查应包括从周围地区居民与法律法规相关的资料收集,并注意向周围居民说明。

③针对预测可能发生的问题,确定相应施工管理计划和组织措施。本着应做好"遵守法律的邻人"和"共同生活邻人"的前提,

在获得地方环境保护部门、公安部门、消防部门、道路和河流管理部门、地下埋设物管理单位等的指导，就影响隧道周围环境的问题，研究必要的对策，并纳入施工管理组织计划中。

④施工中实施调查、评价计划实施效果及反映。在施工中开展周边环境的调查，确认问题发生点及弥补措施；对当地召开说明会，听取居民反映；举行例行协议会，加强与当地各职能部门的联系。

31. 根据工程对周边环境的影响可采取什么对策？

答：在隧道施工影响周围环境的场合下，必要时应实施下列对策：

①噪音、振动对策。造成噪音和振动危害，主要是由靠近住宅的洞外设备、住宅附近的隧道爆破开挖、市区内废弃土石运输等产生的。作为防止对策有：选用低噪音和低振动型的洞外设备，对设备采用隔音和防振设施，如空气压缩机、混凝土拌和厂、碴仓、送风机等设隔音罩、隔音墙、设置牢固的机械基础；加强机械的日常维修保养，保持设备正常的工作状态，适当的维护车辆走行的路面，减少构成噪音和振动相关的因素；采用低噪音和低振动的爆破施工方法，限制掘进进尺，采用多段爆破、分部爆破等爆破方式，进行药量调整、雷管选择等爆破管理；规定放炮时间、限制运输时间、指定运输路线。此外，作为隧道内的爆破噪音对策，在洞口等设置隔音门、空气通道等的方法是有效的。

②枯水对策。隧道内泄漏水引起地表水、地层水枯竭，主要表现为隧道顶部及周围的水塘、鱼池、水库、水沟、水渠、水田、水井等跑漏水。作为技术措施：可夯填洞顶洼地、落水洞等；对水沟、水渠、蓄水池等作防漏处理；用罩布等覆盖水田、水塘等的底面；围岩注浆充填断层破碎带空隙；用自来水、建新水井或贮水池等作为代替水源。作为枯水对策，从路线选择到施工期间都要研究防止枯水发生，如避绕较大水域、改水田为旱田、采用水密衬砌结构等。

③地基变形对策。因隧道开挖周围地表下沉导致地基变形，主要表现在浅埋隧道周围的房屋、道路、建筑物遭到损坏。作为对

策，要事前预测下沉量，研究限制沉降的施工措施，施工中采取充分的量测管理体制，尽可能将问题防患于未然。限制沉降的施工措施有，超前支护、地表注浆加固及其他特殊施工方法，必要时加强或迁移所影响的结构。

④排放污水对策。在水质污染的防止方法中，像洞内施工排水这样暂时性的排水，要符合环境基本法、河流法、水产资源保护法、自然公园法及自然环境保护法等规定。所以在动工前要对有无污水发生源、有无影响、影响程度、有关法令限制值等进行调查，采取适当的净化处理。向河流排放水时，要调查下游河流的利用状况，特别是有关氢离子浓度(pH)和浮游物质量(SS)的调查，要把放水流域的排水标准控制在限制值以内，保证对农作物、水产物等不造成危害。由洞内排水及混凝土拌和厂等设备排出的污水，要考虑用沉淀槽进行沉淀、掺入药品加以净化、中和等等。而由污水处理产生的污泥、废泥，应按产业废弃物对待。为了防止弃土场周围的二次污染及便于运输处理，应进行脱水处理，然后将其抛弃在得到允许的弃土地点。

⑤交通故障对策。工程车辆运行，普遍造成道路交通阻塞、交通噪音振动、道路损坏以及污染、交通事故等，所以需在动工前进行充分的运输路线调查和开工之际采取必要的对策。既要掌握构成运输路线的道路状况(像行人道、交叉道口、公共汽车路线、沿线房屋及设施、邻近工程等)以及交通量、交通限制的状况、迂回道路的状况等，又要与有关的道路管理单位、公共设施管理部门、沿线居民作充分协商后，才可采取对策。选择路线时，应尽量避免狭窄公路、行人多的混用道路、上下学道路等。同时在有必要的场合，设置错车场道、扩宽道路、加铺路面、交通信号、弯道镜，设看守员，限制运输时间、速度等。在策划车辆运行计划之际，根据上述的调查和研究，考虑尽量减少各种故障的发生和影响。尤其对易受影响的公共设施等(学校、医院、老人院等)更须特别注重。在施工期间，为了防止包括交通事故在内的各种故障发生，须对司机、车辆、运行进行彻底的管理。对于司机的管理最重要的是进行教育，主

要包括:工程概况介绍、现场应遵守事项、确保安全和卫生所必须注意的事项、防止交通事故必须要注意的事项(例:运行上的注意事项、车辆的作业标准、车身的检查和维修有关的事项、在遇有事故时等的相应处理方法等)。车辆管理主要指对投入运行的车辆实施运行前检查和定期检查,要达到没有不完备的车辆和不出现车检中断的车辆。尤其检查运输土石砂车辆有无超载、违法改造、沿途掉碴处置是否适当等。运行管理要力求确立运行管理体制和落实具体措施。

32.怎样防止对公众伤害的发生?

答:隧道施工改变了当地居民的生活环境和次序,常常会引发对公众的伤害,为此需防止此类伤害的发生,一般应采取的措施有:

①明确施工作业场所。在与公众有关的区域中,施工时既要从其周围明确划分出施工作业、材料堆集、机械放置等须使用的区域,又要在上述场所设置固定的或类似的阻挡和警示物件,以免公众进入或误入。同时不得使用该区域以外的场所施工。

②设置必要的道路标识板。进行与道路相关地段的作业时,按照道路管理者及所辖交通警察部门的指示,设置必要的道路标识,以防随着施工出现交通危险、阻塞等情况,确保过往车辆、行人的安全。

③注意保护周围居民的生活环境。在考虑作业场所周围环境问题的同时,还要努力做到对作业场所周围居民的生活环境的保护,如防止尘土飞扬、降低作业场所内物资整理噪音、美化环境等这类极细致的顾虑。为使其与周围地域的环境要相适应,也有可能考虑变更施工方法。

④进行安全巡视。推选有经验的技术员或精通有关法令的人,担任作业场所及周边的安全巡视,并要给予充分的权限,使其从事有实效的巡视工作。同时努力对事故防止设施等进行保养和维修管理。

⑤宣传公众。力求预先让附近的居住者知道公害相关区域概

要,以期求得公众的协助和理解。公害相关区域指在有行人、建筑物、公共设施等地方,发生过事故的场所,有可能给公众造成危害、添麻烦的区域。同时,必须从附近居民等处收集有关公害防止等的反映意见和要求,以期寻求相互调节。

第二节　洞内作业环境

33.建立怎样的洞内作业环境管理体制?

答:以动工前所收集的调查资料为基础,对各种危害施工人员健康、安全的要素进行预测和评价,并制定切实可行的相应计划,明确管理体制,以便有效地进行各项管理工作。要点有:

①要在施工中实施调查,对事前调查进行阶段性预测,提高以后的预测精度。

②要适时进行洞内空气测定和施工通风,维持洞内正常环境。参考有害气体等容许浓度的规定值,斟酌各现场条件,设定管理目标值和对它们的作业标准。

③充分考虑洞内作业是在粉尘及噪音、湿度大、高温等严酷环境下进行的作业,必须对作业的方法及机械和设备等作适当选定,以期改善环境,在安全且卫生的条件下作业。

④规定对作业人员的教育、作业内容变更时的教育、危险或与有害业务有关的特别教育、其他工长的教育等。

⑤明确异常情况时,如塌顶、涌水、瓦斯爆炸、火灾等,可迅速联络和通报有关作业员的体制,和相应的警报、通话设备。

⑥建立以总体安全卫生负责人为首的安全卫生管理组织,安排好负责人,明确其担负的任务,确保洞内环境计划的实施和遵守作业标准。

34.如何对洞内作业环境进行管理?

答:为降低有害因子对作业人员健康的危害,必须适当管理洞

内的空气环境、湿热条件、能见度环境、声音环境等作业环境，努力排除作业人员的疲劳、生理反应。洞内作业环境管理包括洞内的环境管理、作业管理和健康管理。

洞内环境的管理内容：

①为了掌握作业环境，实施作业环境测定。

②为稀释浮游粉尘或控制缺氧空气、有害气体等的浓度而进行的通风等。

③根据作业的状况、季节等采取适当保持温度和湿度的措施。

④确保适合作业的照明以及防止因粉尘等引起的视线不良现象。

⑤采用低噪音机械、临时设备的隔音墙等进行声源控制的措施。

洞内作业管理的注意事项：

①改善作业方法、提高机械设备使用率、采用助力装置等，谋求减轻作业人员的身心负担。

②对健康有障碍的作业，要设定限制作业时间的管理标准。

③与高温、大湿度、粉尘、噪音、振动有关的作业，尽量减轻保护器具的着装负担。

健康管理主要为防止或尽早发现隧道作业出现的职业性疾病。通过健康诊断，要求掌握每个作业人员的健康状况，一旦发现作业场所有有害因子，要马上给以改善。隧道作业的主要职业性疾病例见表 3-1。

有关隧道作业的主要职业性疾病例　　表 3-1

有害因子	职业性疾病	发生的职业种类（有关作业）	原　因
粉尘	矽肺	凿岩工、土工（开挖作业）	长期吸入矿物性粉尘
一氧化碳	一氧化碳中毒	地下作业者、爆破技工	吸入内燃机的排放气体等不完全燃烧空气

续上表

有害因子	职业性疾病	发生的职业种类（有关作业）	原　因
缺氧空气	缺氧症	地下室、洞内作业者	空气中氧气消耗、其他气体的替换、缺氧空气的喷出
振动工具	振动障碍	凿岩工、錾凿工、空气工具使用者	长期使用振动工具
重物	腰痛	搬运工、杂役	急性强烈敲打、慢性肌肉疲劳、作业姿势不良
噪音	听觉障碍	凿岩工、空气压缩机工	长期的噪音暴露

35.需施工通风的作业场所有哪些?

答:洞内通风换气,是以在洞内发生的有害物质、温度等为对象的。由爆破后气体、内燃机车的排放气体、随山体开挖有害气体等涌出、喷混凝土施工使粉尘量增多等对洞内空气造成的污染,多采用供给新鲜的空气或排出污染空气,使有害物质的浓度降低的方式。表3-2所示为需要通风的作业或作业场所与措施。

需通风的作业或作业场所　　表3-2

作业或场所	措　施　的　内　容
自然通风不充分的洞内作业场所	必须设置通风设备,供给卫生上要求的空气份量。自然通风换气量能满足卫生上要求的洞内作业,不受此限制
高温下(>37℃)的洞内作业场所	必须采取加大通风量等措施将洞内的气温控制在37℃以下,而在进行人命救助或危险防止的有关作业时,不受此限制
有可燃性气体、蒸气、粉尘,有可能发生爆炸、火灾的场所	防止易燃性的东西如蒸气瓦斯或粉尘造成的爆炸或火灾,必须采取通风、换气、除尘等措施

续上表

作业或场所	措 施 的 内 容
因排放气体、粉尘等，视野不良的场所	在隧道内视野因排放气体、粉尘等明显受限制的状态时，要进行通风换气、洒水等，为了安全进行该项作业，必须采取必要的视野保持措施
使用内燃机的自然换气不充分的场所	在坑道、井筒的内部及其它场所、自然换气不充分的地方，不许使用有内燃机的机械。但是，为了防止内燃机的排放气体引起的健康障碍，对该场所换气时不受此限制
缺氧等危险场所换气等	通风换气使缺氧场所空气中氧气的浓度必须保持在 18% 以上，并且将硫化氢浓度保持在 10ppm 以下；进行换气时，不许使用纯氧。必须准备大于同时作业的工人数量的空气呼吸器等，并必须让工人使用

36.为什么洞内照明需确保充分的亮度？

答：为了防止剥落、塌顶、重型机械和车辆等造成的灾害，须根据作业的种类，在洞内的作业场所及通道等安装照明设备，确保有充足的亮度。一般对在掌子面等直接进行作业的地方采用 70 勒克司以上的照明，在其它的地方，也要采用不少于 10 勒克司的照明，并定期进行检查。设置洞内照明时需注意：

①直接作业的场所，既要有充分的照度，又要使阴影少。

②频繁作业的机械背面和死角等处要有足够的亮度。

③测量及喷射作业时，除固定的照明灯具外，还要配备移动照明灯具，尽可能保证量测点、检查点具有充分照明。

④选定表面亮度较低、机械操作手和作业人员不感到明显眩眼的照明灯具。

⑤为防止触电或误操作，电气、机械器具的操作部分要保持必须的亮度。

37.如何降低粉尘对从业人员的危害?

答:在隧道内产生粉尘的作业主要有钻孔、装碴、运碴、混凝土喷射、焊接等。粉尘成分以隧道开挖的岩石微小粉末为主,伴有喷射混凝土作业的粉尘、柴油装载机和运碴车等排出的煤烟(碳类)气体和焊接休谟等。长期暴露在粉尘环境中,人体可能引发患矽肺或者皮炎等病症。降低粉尘对人体危害的对策有:

①在发生源处,减少粉尘飞散。如:选用湿式钻孔和喷射混凝土;对爆碴、运输通道进行洒水等。

②发生源处难作处理,要防止粉尘扩散。如:隔离喷射场所,将粉尘直接排出洞外;安装有效处理粉尘的集尘机;采用遥控操作喷射机械或自动化。

③进行通风换气,用新鲜空气稀释粉尘浓度。需综合隧道规模、施工方法以及开挖的进展状况,选择出最适合的换气方式。

④在粉尘发生的场所,要使用适当的个人保护器具。像戴合格防尘罩,并对过滤器要按时更换。

⑤进行作业人员就业时的和定期的硅肺检验。。所谓就业时不只限于新来者也包括原雇用者而重新从事粉尘作业的就业者。隧道作业员在接受就业时的健康检查后,必须接受每年2次的健康诊断。

⑥粉尘环境就业劳动管理及健康管理。从事粉尘作业前,对作业员进行有关粉尘的扩散以及作业场的换气方法、作业场的管理、防尘面罩的使用方法;与粉尘有关的疾病以及健康管理有关的特别教育。根据作业人员矽肺病情,及时调换从事粉尘暴露少的作业,或者调换去从事非粉尘作业。建立矽肺健康管理的记录,保存代替健康诊X射线照片。

38.降低噪音危害的对策有哪些?

答:洞内噪音危害主要是妨碍会话、联络声音,造成不安全作业,因此必须减少作业人员的噪音暴露。降低隧道施工噪音危害

的对策主要有：

①采用噪音低的机械器具、装置、施工及作业方法。如使用油压凿岩机替代空压凿岩机，采用机械开挖代替钻爆开挖。

②对产生音源的机械设备等安装上适当的消音装置，力求减小噪音源强。如改造内燃机尾气排放管的噪音器，改变设备壳体自振频率。

③对设备加盖子、顶棚和墙等，并使用适当的吸音材料，阻隔噪音传播。

④将作业者和噪音源相隔离。如从事钻孔、装碴等发生明显噪音等作业的作业员，使用耳塞及其保护用具或采用具有封闭驾舱的机械车辆。

⑤定期测定作业环境的噪音等级，加强可能发生噪音性难听危害场所的管理。

⑥进行定期的听力检查，研究作业环境及保护器具的改善。

⑦进行有关为减少洞内的噪音等级和暴露量的作业方法、隔音保护用具等教育。

39.降低振动的对策有哪些？

答：洞内施工使用的手持式机具，其振动对人体的影响，主要是造成手、骨和关节的变形和引起血管、运动神经障碍等方面的疾病。作为这类振动危害的防止对策有：

①选定机械工具为内藏式内燃机的振动小的设备，即从使用作用点所发生的振动难以传递到发生部分以外那样的机械和工具。

②使用装有防振装置的手持式凿岩机、风镐、风锤等振动工具，并要佩戴防振手套。

③限制振动作业时间，并对操作时间进行管理。在一天中的振动业务作业从事时间(除休业时间)要在 2h 以内。

④要进行有关振动障碍的特殊健康的准确诊断，进行健康管理。

⑤进行振动机械工具对人体的影响、正确的操作方法、有关振动障碍预防的安全卫生教育。

第四章　施工测量

第一节　隧道测量要求

40.隧道平面控制测量精度要求如何?

答:隧道施工测量有地表控制测量和洞内控制测量之分。地表控制测量主要复核设计单位交付的洞外中线方向和长度以及水准基点高程等;洞内控制测量则将校核过的洞口投点,引伸入洞。现场施工人员主要负责洞内控制测量和施工测量。隧道洞内控制测量等级见表4-1。

隧道洞内平面控制测量等级　　表4-1

测量方法	测量等级	适用的隧道长度(km)	测角中误差(")	边长相对中误差		
				最弱边	起始边	基线
导线测量	二	直线6~8	±1.0	直线1/6000 曲线1/10000		
		曲线5~8				
	三	直线3~6	±1.8	直线1/6000 曲线1/10000		
		曲线3~5				
	四	直线2~3	±2.5	直线1/6000 曲线1/16000		
		曲线1.5~3				
	五	直线<2	±4.9	直线1/6000 曲线1/10000		
		曲线<1.5				

注:①适用的隧道长度系指隧道两相邻开挖洞口间的长度;

②导线测量均系按测量两组的成果计算;

③导线边长:隧道长度在2km以下,直线部分边长按不短于200m,2~4km按不短于250m,4km以上按不短于400m考虑;曲线地段,不论隧道长短均按不短于70m考虑。

长度不小于1000m的直线隧道和500m的曲线隧道，采用中线法测量时应根据各测量部位贯通中误差的分配值（见表4-2）进行检核。

隧道控制测量的贯通精度 表4-2

测量部位	横向中误差						高程中误差
	两开挖洞口间长度(km)						
	<4	4~8	8~10	10~13	13~17	17~20	
洞外	30	45	60	90	120	150	18
洞内	40	60	80	120	160	200	17
洞内洞外总合	50	75	100	150	200	250	25

41.隧道洞内高程控制测量有哪些要求？

答：洞内的水准测量仪器可根据测量等级与两开挖洞口间水准线路线长度，参考表4-3选择。

各等水准测量的路线长度及所用仪器 表4-3

测量部位	测量等级	$M\Delta$ (mm)	两开挖洞口间水准线路线长度 (km)	水准仪型号	水准标尺类型
洞内	二	≤±1.0	>32	S_1	线条式铟钢水准尺
	三	≤±3.0	11~32	S_3	区格式木质水准尺
	四	≤±5.0	5~11	S_3、S_{10}	区格式标尺或塔尺

无论洞外或洞内水准测量，凡两开挖洞口间的水准路线长度大于5km时，需进行水准测量设计；水准路线长度小于5km时，可不做测量设计而按五等水准测量的精度要求施测，与线路定测水准精度相同。隧道水准测量等级的相应精度规定见表4-4。

隧道水准测量等级及限差　　表 4-4

水准测量等级	水准测量高程差中数中误差（mm/km）	限　差　（mm）		
		检测已测段高差之差	测段往返观测高差不符值	线路闭合差
二	≤ ±1.0	$\pm 6\sqrt{R}$	$\pm 4\sqrt{R}$	$\pm 4\sqrt{R}$
三	≤ ±3.0	$\pm 20\sqrt{R}$	$\pm 12\sqrt{R}$	$\pm 12\sqrt{L}$
四	≤ ±5.0	$\pm 30\sqrt{R}$	$\pm 20\sqrt{R}$	$\pm 20\sqrt{R}$
五	≤ ±7.5	$\pm 30\sqrt{R}$	$\pm 30\sqrt{R}$	$\pm 30\sqrt{R}$

注：R 为测段长度，L 为路线长度，均以 km 计。

42. 隧道控制测量需注意哪些事项？

答：对隧道控制测量的一般规定有：

①洞外控制测量应在每个洞口附近测设不少于三个平面控制点和两个水准点，作为洞内测量的起测依据；

②洞口投点应便于施工中线放样测量；

③各级导线测量的测角精度和测角回数，参照表 4-5；

测角精度和测回数　　表 4-5

三角锁和导线测量等级	测角中误差(")	仪 器 等 级	测回数
二	±1.0	J_1	6～9
		J_2	12～15
三	±1.8	J_1	4
		J_2	6～9
四	±2.5	J_1	2～3
		J_2	4
五	±4.0	J_2	2～3

④方向观测法各项限差，如表 4-6；

方向观测法各项限差(″)　　表 4-6

仪器等级	光学测微器两次重合读数之差	半测回归零差	各测回同一方向两倍视轴差(2C)的互差	各测回同一方向值互差
J_1	1	6	9	6
J_2	3	8	13	10

⑤使用光电测距仪时,距离及竖直角应往返观测各两测回,距离每测回读数三次,其各项限差规定如表 4-7。

光电测距仪各项限差　　表 4-7

仪器类别	标称精度(mm)	同一测回各项读数互差(mm)	测回间读数较差(mm)	往返测平距较差(mm)	竖直角测回面较差(″)
I	$\leqslant 5\times 5\times 10^{-6}D$	6	7	$2mD$	8
II	$\leqslant 12$	12	15	$2mD$	8

注:mD 为标称精度;D 为测距(km)。

使用光电测距仪时,需注意:

①视线宜高出地面和离开障碍物 1.3m 以上;

②视线应尽量避免通过受电、磁场干扰的地方以及发热体,一般要求离开高压线 2~5m;

③视线背景应避免反光物体,在反射光束范围内不得同时出现两个反射器;

④测距前应检查电池电压是否符合要求;在低温条件下作业时,应有一定的预热时间,使仪器各电子部件达到正常稳定的工作状态;

⑤当洞内有瓦斯时,应采用防爆型测距仪;

⑥由于洞内潮湿及粉尘烟雾影响,使测距光信号能量衰减,影响光波传播,为保证光电测距的精度,施测时宜停止洞内施工作业,并增强通风和照明;

⑦由洞外引伸入洞的测边应在洞口以内 15~20m 处读记气温、气压,进行气象校正。

第二节　洞内测量方法

43.洞内导线布设的一般要求是什么?

答:①洞内导线的视线应离建筑物、支撑及其它设备一定距离,一般不小于0.2m,故常沿中线布设,或沿中线的一侧布设。

②每一期测量的洞内导线,应构成角度闭合条件,以供检核和评定测角精度。单导线的导线角宜按左、右角分组观测。

③导线边长应根据洞内导线测量设计要求布置(参见表4-1注③)。衬砌地段通视良好时,宜采用设计边长二倍以上的长边导线。

④当导坑用中线法延伸的长度大于二倍导线设计边长时,一般可考虑进行一次(即一期)导线引伸测量(常称"引线")。一个导线环的测角站不宜多于6站,测站较多时,应组成毗连的两个或多个环。

⑤洞内导线点采用混凝土包铁芯桩(不可用铁板、短钢轨代替铁芯)。桩顶面较导坑底面约低0.1~0.2m,上面加木板覆盖。在桩位两侧坑道壁上须将点名、里程标注清楚,以利保护和使用。

44.洞内导线的一般布设形式是怎样的?

答:洞内导线的常用形式为主副导线环,它适用于直线隧道和曲线隧道。坑道内导线布设的一般形式如下:

①正洞内一般建立隧道的贯通导线。需分两个阶段进行。导坑掘进阶段,主副导线环布设形式如图4-1所示,"进插"为洞口插点,"进插"至A、B方向为两已知方位边;洞内导线点冠以"导"字者为主导线点;冠以"引"字者为副导线点,主副导线点均观测导线角。主导线测边,副导线不测边。导坑贯通后,最后一期的贯通导线由两端导线终点分别与贯通点连接组成附合导线。

②平行导坑导线一般由正洞导线通过横通道在平导内连测支

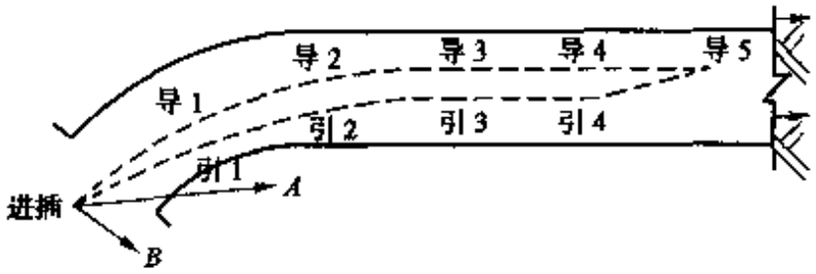


图 4-1　正洞导线

导线点建立，也可自平导口向洞内建立单导线。支导线如图 4-2 所示。当正洞因故不能继续掘进而需由平导导线转入正洞施工时，平导导线要求建立在与正洞同精度的基础上；一般需从平导口向下导内施测导线而不宜通过很短的横通道将正洞导线引入平导后再折返正洞来引伸。

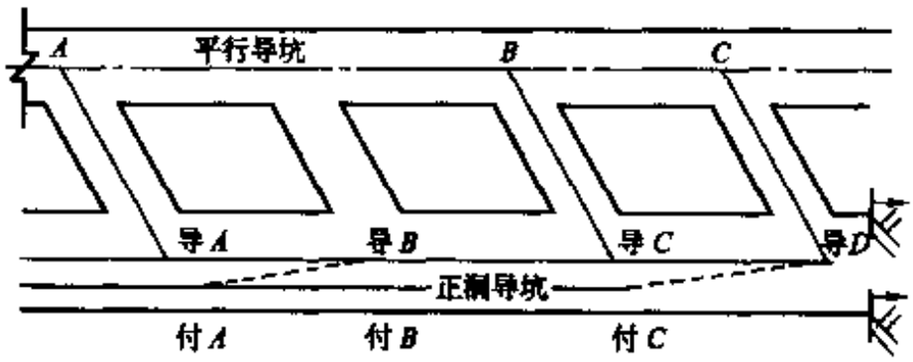


图 4-2　平导支导线点

45. 洞内导线测角有什么要求？

答：洞内导线测角，以方向观测法为主。要求导线角应按洞内导线等级进行等精度观测，并须注意：在洞内测角时，必须保证照准目标，有足够明亮度；远离贯通点地段的导线，必须保证导线边的长度不小于表 4-1 注③的长度。当因施工条件不可避免地要出现小于要求长度 1/2 的短边时，应在施工条件改善后，尽快按要求的边长布点补测该段导线。

46. 洞内施工中线测量有哪些方法？

答：隧道施工中的线路中线测量包括直线和曲线两种，根据施

工步骤又可分为临时中线和正式中线。表 4-8 列出坑道中线的延伸方法。

坑道中线的延伸方法 表 4-8

方式	中线线形	测量方法	测量要点
冲线延伸	直线	依据经纬仪测设在支撑横梁上的三个已知中线点，目测向前瞄线定方向并用尺量出长度和偏距，以确定新的中线点。延伸长度不宜超过 30m	用于导坑临时中线测设，冲线点的间距约 5m
	曲线	延伸常用弦线偏距法、方向距法和长弦支距法。延伸长度不宜超过 20m	
经纬仪延伸	直线	当冲线延伸至 20m 或 30m 时，使用经纬仪定正前端临时中线点；仪器定正若干次达到设置一个正式中线点的长度时，则需测设正式中线点。正式中线点的点间距一般为 100～200m	临时中线用正倒镜拨角分中定点，距离可用皮尺丈量；正式中线用两次正倒镜拨角分中定点，距离用钢卷尺丈量
	曲线	延伸常用切线偏角法、弦线偏角法。正式中线点的点间距一般为 50～70m	
激光导向	直线	在经纬仪导向网路上用以准直方向、指示掘进机械工作的正确位置	
	曲线	激光仪的导向网路按方向距测设图形布置。激光仪安置在方向角的交点上，按割线方向准直；导向行程一般在 20～80m 之间；行程上各点的偏移量按弦线支距(矢距)法计算，也可用长弦支距法计算	

47. 曲线隧道中线侧移如何计算？

答：当施测双线隧道中部导坑中线和侧壁导坑中线或线路中线遇到溶洞、流沙等地质不良情况或其它情况时，需将线路中线平行侧移。当平移中线与线路中线在直线(即切线)和圆曲线地段严格平行，间距均为 S；在缓和曲线地段极近似地平行。线路中线与

平移中线的关系如图 4-3 所标注。

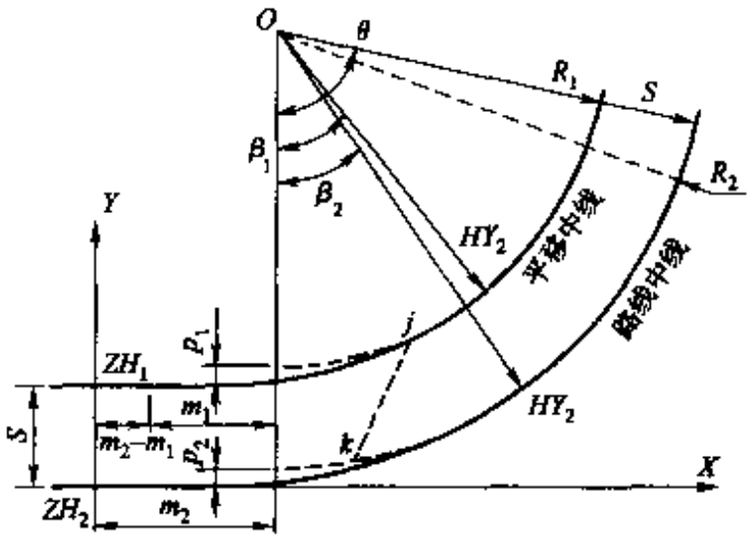


图 4-3　曲线侧移关系

因切线间距和半径差均为 S，两曲线的内移距亦必相等，即有：

$$p_1 = p_2$$

平移的和线路设计的缓和曲线长（l_1、l_2）之比等于各自圆曲线半径平方根之比：

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2}} = \frac{\sqrt{R_2 - S}}{\sqrt{R_2}}$$

平移的和线路设计的缓和曲线角（β_1、β_2）之比与圆曲线半径的平方根成反比：

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\sqrt{R_2}}{\sqrt{R_1}} = \frac{\sqrt{R_2}}{\sqrt{R_2 - S}}$$

平移的和线路设计的缓和曲线的切垂距（m_1、m_2）与圆曲线半径的平方根成正比：

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2}} = \frac{\sqrt{R_2 - S}}{\sqrt{R_2}}$$

当已知设计的缓和曲线要素时，根据以上三式即可计算平移的缓和曲线要素。如要解决图 4-3 中 j、k 两点间关系，需求出它

们间的方位角和距离，即可由一点测设另一点。

以线路中线之 ZH_2 点为坐标原点，平移曲线的统一支距坐标按下式计算：

$$x = (m_2 - m_1) + l_1 - \frac{l_1^5}{40R^2l^2}$$

$$y = S + \frac{l_1^3}{6Rl} - \frac{l_1^7}{336R^3l^3}$$

式中：l_i——缓和曲线上任意点至缓和曲线始点的曲线长。

48. 竖井联系测量有哪些规定？

答：竖井联系测量是通过竖井将洞外平面坐标系统和高程系统传递至洞内导线和水准点。一般规定：

①平面坐标和坐标方位角的传递方法：开挖面至竖井中心在50m以内时，可以采用冲线法；超过50m应采用联系三角测量法；当竖井之间已贯通，可通过两竖井进行定向测量。

②通过竖井传递高程，采用钢丝导入法或长钢卷尺导入法。

③洞外控制测量应在每个井口测设不少于3个平面控制点，包括投点及其相联系的三角点或导线点和两个水准点，以便作为联系测量的起测依据。

④每次进行联系测量之前，对井口附近之平面控制点和水准点进行检测，在证实点位没有移动的情况下，才能进行联系测量。

⑤进行竖井联系测量时，为尽量减小钢丝或钢卷尺的摆动，以提高联系测量的精度和效率，需暂时停止送风，井口全部盖严，只留穿过垂线的小孔。

⑥在竖井联系测量中，对经过充分验证的、能够满足精度要求且便于现场使用的先进技术应尽量采用。

49. 竖井联系测量进行哪些主要步骤？

答：第一步垂线设置。竖井联系测量所用的钢丝导向滑轮和定线板，应设在与井架分离的特制托架上；按下列关系选用锤重和

钢丝直径：

$$\frac{\text{井深(m)}}{2} \approx \text{锤重(kg)}$$

$$\sqrt{\frac{\text{锤重(kg)}}{10}} \approx \text{钢丝直径(mm)}$$

下放垂线时，先用 2～3kg 的小吊锤挂在钢丝下端，将钢丝下端放至井底后，换上工作吊锤；工作吊锤应放在机油桶内，桶上加盖，防止滴水搅动油面。

第二步垂线自由状态的检查。悬挂的垂线应处于自由摆动状态，钢丝不应接触到井筒中的任何物件，其检查方法除仔细察看外，可采用"传信法"、"垂线间距比较法"或"摆动周期法"加以检查。

①传信法是井上用油毛毡圈（或其它代替物）分别套住两垂线，自井口同时投放，用电话与井下联系，每隔一定时间投放一次，在井下观察到达时间，以判断垂线是否与其它物体接触。

②摆动周期法是在井下观察摆动之半周期 T(s)，利用 T(s) 与摆长(m)有下列关系：

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g_n}} = \frac{\pi}{\sqrt{g_n}}\sqrt{l} \approx \sqrt{l}$$

式中 g_n 为标准自由落体加速度，可采用 9.80m/s^2。如在井下观察到的半周期较预计的半周期为小，说明垂线在井筒中接触到其它物体。接触点的位置可按实际半周期 T(s)的平方，约等于吊锤到接触点的距离 l(m)找到。

③垂线间距比较法是在井上和井下测量两垂线间的距离进行比较，井上、井下两垂线间距之差应不大于 2mm（在垂线摆动情况下系指定中标尺上垂线平均位置的间距）。垂线下端摆动的振幅超过 2～3mm 时，可用定中标尺来测定垂线静止时的位置。垂线摆动位置的标尺读数（左读数或右读数）应取十一组，读数时视线应切垂线的同一侧边缘。相当于垂线静止时的位置读数 P 按下式计算：

$$P = \frac{\sum R}{2n_R} + \frac{\sum L}{2n_L}$$

式中：$\sum R$——垂线右摆位置读数总和；

$\sum L$——垂线左摆位置读数总和；

n_R——垂线右摆位置的读数次数；

n_L——垂线左摆位置的读数次数。

垂线静止时的位置算出后，可用定中针标示垂线静止时的位置于定中盘上供观测。

测量垂线间距或用经纬仪照准垂线，井上应在定中板以下多于1m的地方进行，井下应在吊锤顶部以上多于1m的地方进行，以避免钢丝在尽头处有曲折所带来的误差。

第三步联系三角形的布置。联系三角形布置如图4-4并应符合下列要求：

①垂线间距 a 与 $a_下$ 尽量布置长些；

②对应于 a 和 $a_下$ 之角 α 和 $\alpha_下$ 应尽量小，最大不超过2°；

③b/a 和 $b_下/a_下$ 的比值尽可能近于1，最大比值应不大于1.5；

④井上之测站应与三角点或导线点通视，以便观测 ω 角；井下之测站应与井下导线点通视，以便观测 $\omega_下$ 角。

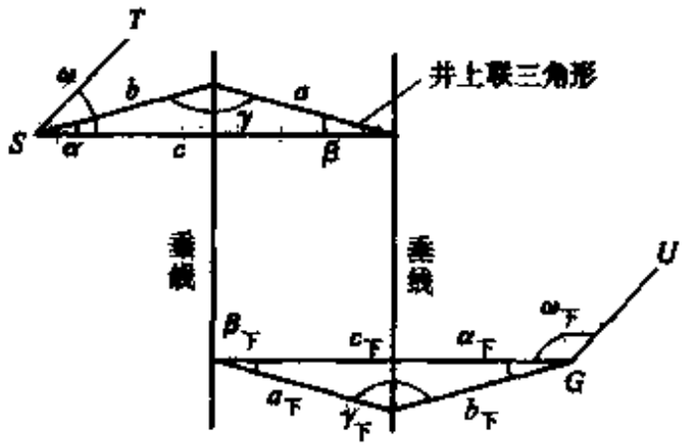


图4-4 竖井联系三角布置

第四步联系三角的测量。量 a、b、c、$a_下$、$b_下$、$c_下$ 边长和测 ω、$\omega_下$、α、$\alpha_下$ 角度，井上与井下的观测最好同时进行。各角的测量

精度和各边的测量精度，应根据传递坐标和坐标方位角所要求的精度作出设计加以规定。

第五步平差计算。首先按测得的 α、a、b、c 值根据正弦定律算出 β 值，即

$$\beta_{算} = \frac{b_{测} \times \sin\alpha_{测}}{a_{测}}$$

然后根据下式求 $c_{算}$

$$c_{算} = b_{测}\cos\alpha_{测} + a_{测} \times \cos\beta_{算}$$

再求不符值 f_c

$$f_c = c_{算} - c_{测}$$

再按下式求边长的改正数

$$(a) = -\frac{f_c}{4}$$

$$(b) = -\frac{f_c}{4}$$

$$(c) = +\frac{f_c}{4}$$

井下计算同上。角值不加改正(理论证明改正值极小，可忽略)。

50.洞内施工水准测量有哪些要求?

答:施工水准测量主要用来掌握开挖和衬砌的高程。当隧道短于 5km 时，施工水准测量还要保证隧道高程贯通精度；大于 5km 的隧道需按测量设计进行洞内水准控制测量，施工水准测量则在控制水准测量的基础上施测。一般要求有：

①洞内水准点间距一般在 200～500m 之间。当衬砌工作面较多时，需事先将水准点加密，大约每 100m 一点，使其在任何部位置镜时能直接后视水准点传递高程。

②洞内水准测量的起算高程，必须采用洞外水准测量结果的高程或洞外水准施工复核测量后的高程。

③短于 5km 的隧道，按五等水准测量，即每公里水准测量高

差中数中误差不大于±7.5mm。长于5km的隧道需做洞内水准测量设计，各等水准测量精度按表4-4办理；

④建立施工水准点的观测方法仍是路线水准往返观测。水准点用道钉或螺栓埋设在大小避车洞底部或边墙下部。

⑤结合施工的特点和需要，应在拱部、边墙施工地段至少每100m设一个临时水准点；临时水准点仅用于坑道掘进，不能作为衬砌工程依据，各中线点的高程则由水准基点引测；

⑥加密临时水准点可往返观测，也可用双转点法一次观测，但必须闭合在已知水准点上。

⑦根据设计纵断面图，按里程算出隧道底部、路面水平、起拱线、扩大腰线、内拱顶水平等各部位每10m的标高，供施测时查用。在起拱线上1m处沿前进方向伸延，用红漆划线标示，作为立拱架掌握起拱线的高程；在边墙两侧标出路面水平，作为铺底(或仰拱)水沟、电缆槽、大小避车洞等施工之用。

51.洞内高程传递有哪些方法？

答：洞内高程传递方法见表4-9。

洞内高程传递方法 表4-9

传递方法	立尺方法	说明	高程计算方法
双正尺	后视尺、前视尺均立于坑道底	尺子零端置于坑道底面的测点上	$H_B = H_A + (a - b)$
双倒尺	后视尺、前视尺均立于坑道顶	尺子零端置于坑道顶面的测点上	$H_B = H_A - (a - b)$
正倒尺	后视尺立于坑道底面，前视尺立于坑道顶面	后尺零端在底面，前尺零端在顶面	$H_B = H_A + (a + b)$
倒正尺	后视尺立于坑道顶山，前视尺立于坑道底面	后尺零端在顶面，前尺零端在底面	$H_B = H_A - (a + b)$

注：H_A、H_B分别为后视尺、前视尺测点高程；a、b分别为后视尺、前视尺读数。

52. 何为光电测距仪高程导入法?

答:竖井联系测量的高程传递方法有长钢卷尺导入法、钢丝导入法和光电测距仪高程导入。实践证明,用光电测距仪作竖井的高程导入,其精度比用钢卷尺或钢丝导入法高,成果可靠,操作、计算亦较简便。其具体作法如下:

在井口搭一支架,将测距仪安置于支架上,安置中心与井下反射镜的安置中心,均应在原投点位置;观测时使测距头通过直角棱镜瞄准井底的反射棱镜测距,一般应观测 3 ~ 4 测回,每测回读数 3 次,限差应符合表 4-7 的要求,距离应加气象及常数改正(但不需测竖直角倾斜改正),改正后的距离即为测距仪中心至井底反射棱镜的高差,然后用两台水准仪分别测出井上基点至测距仪中心的高差及井下基点至井下反射棱镜的高差,将井上基点的高程传递至井下基点。

高程传递应独立进行两次(2 次置镜),两次测量的较差(加各种改正数后)应不大于 ± 5mm。井下应将高程传递到至少两个水准点上。洞内水准点如发生沉陷、位移,引起向开挖面传递高程产生错误时,则必须通过竖井向井下重新传递高程。

第三节　贯通误差调整方法

53. 导线法贯通误差怎样调整?

答:贯通导线处理的一般方法有:

①当实际贯通误差在贯通限差以内时,无需在整个洞内导线上调整,而只需在贯通点两端未衬砌地段的导线上调整。

②导坑打通后,在实际贯通点中线附近埋设一桩作为测量的贯通点。将两端已有洞内导线的终点与该贯通点用导线连接起来组成一条附合导线,按单导线一样测角和量边。

③由两端分别计算贯通点的坐标。贯通点线路法线方向的坐

标闭合差即为实际横向贯通误差;贯通点线路切线方向的坐标闭合差即为实际的纵向贯通误差。

④附合导线的角度闭合差即为贯通的方位角闭合差,一般不调整。

⑤贯通误差的调整方法:直伸形隧道和一般曲线隧道宜采用按导线边长改正坐标增量的方法;回头曲线隧道和转向角较大的曲线隧道,可用改正导线边长方法调整。

54. 中线法贯通误差怎样调整?

答:根据隧道长度或测量设计,洞内无需进行导线测量的隧道,可以用中线法测量并贯通。贯通误差的调整方法可作如下考虑:

①直线隧道的贯通误差,一般在未衬砌地段用折线法调整,如图 4-5 所示。按其调线范围的长度和横向贯通误差的大小分为三种情况:

转折角 $\alpha < 5'$时,可作为直线线路看待;

转折角 $5' \leqslant \alpha \leqslant 25'$时,按顶点内移量考虑衬砌位置和线路内移量;

转折角 $\alpha > 25'$时,则按加设半径为 4000m 的圆曲线考虑。

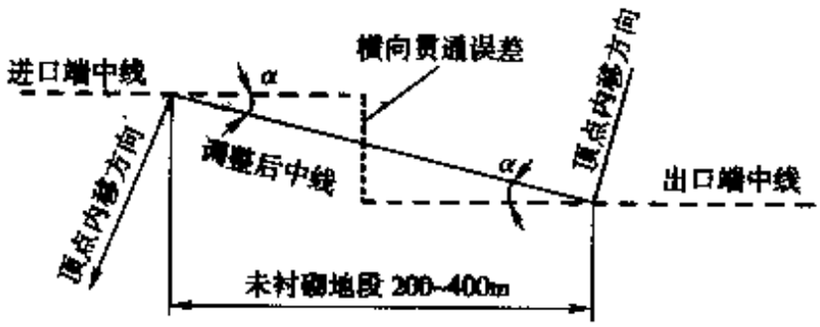


图 4-5 折线法调整贯通误差

②当贯通误差的调线地段全部在圆曲线地段时,可用与直线隧道导线调整相类似的方法,即按边长成比例调整实际贯通误差,如图 4-6 所示。具体方法如下:

测量中线实际贯通误差 f,即对进口端和出口端测至贯通点的实际位置 M_1、M_2 的连线测量;

将 M_1M_2 的中点 M 定为贯通误差调整后的中线点，即贯通点的调整量为 $\frac{f}{2}$；

由 M 点向两端各取等长圆曲线段，作为调线段，一般分为 5 段，每段 10m。

取中线上每一段的调整量 $\Delta=\frac{f}{2\times5}$，按平行 M_1M_2 方向调整贯通点两端中线各线段。

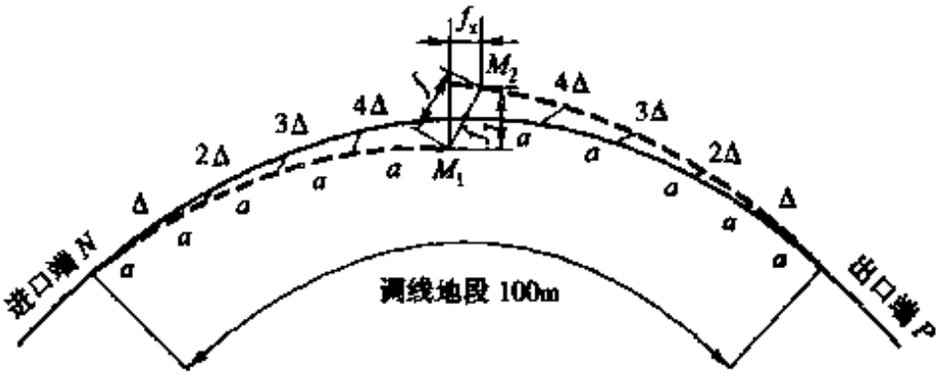


图 4-6　在圆曲线地段调整贯通误差

③当隧道在曲线端部附近贯通时，调线方法按以下两个步骤进行：

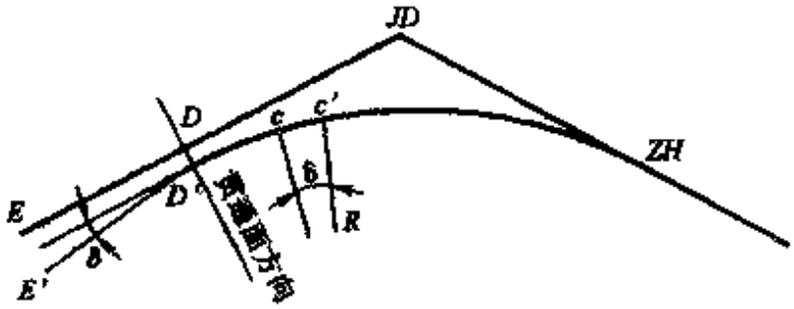


图 4-7　在曲线端附近贯通时的调整(1)

首先从曲线段测量的延伸直线与原有直线段不平行关系进行调整，如图 4-7 所示。直线段测设的中线为 ED，曲线段延伸的直线为 $E'D'$，两者不平行。采取增长或减短曲线长度的方法使 ED 转一角度 δ 后与 ED 相平行。

再者调整曲线另一端点使 D' 与 D 重合，如图 4-8 所示。将曲线另一端点沿切线移动 ΔT 的长度，即 A' 移至 A 点，$E'D'$ 与 ED 重

合，测设中线时则相衔接。

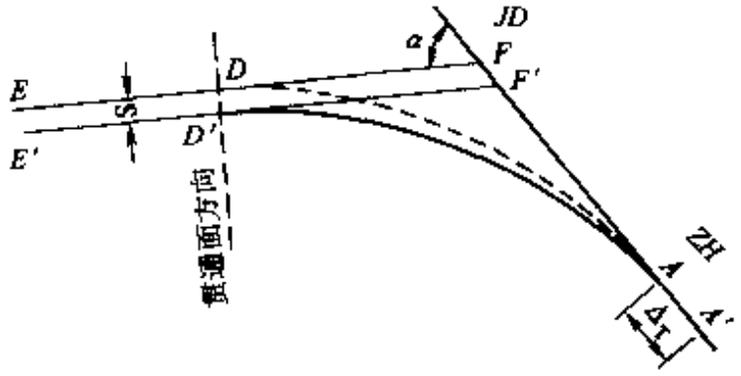


图 4-8　在曲线端附近贯通时的调整(2)

调线地段隧道的开挖和衬砌，均应以调线后的中线和高程进行放样。

55. 高程贯通误差怎样调整?

答：实际高程贯通误差 f_h，一般在隧道贯通点两端的未衬砌地段之水准路线上调整，调整地段应有足够的长度，以保证高程贯通误差的调整对线路的纵坡不发生影响。按贯通之后施工路面时，高程贯通误差可在全隧水准路线上调整。f_h 按调整地段的水准路线长度成比例分配，具体计算方法如下：

①贯通点的实际高程贯通误差按下式计算：

$$f_h = H_{贯进} - H_{贯出}$$

式中：$H_{贯进}$——按进口端水准路线计算的贯通点高程；

$H_{贯出}$——按出口端水准路线计算的贯通点高程。

②每公里水准路线高差的改正系数计算：

$$k = -\frac{f_h}{\sum l_i}$$

式中：$\sum l_i$——调整地段各测段水准路线长的总和(km)。

③测段高差改正值计算：

$$\Delta h_i = k \times l_i$$

因实际贯通误差的符号是相对的，故出口端改正值的符号与进口端改正值符号相反。

第五章　施工掘进

第一节　隧道开挖

56.如何选择开挖方式?

答:隧道的开挖方式,有爆破、机械开挖和人工开挖等。在对开挖方式选择时,要充分考虑到地层条件、隧道的规模、隧址的区域条件,要从施工性、经济性方面进行考虑,选择安全的方式。必须考虑到地质条件、可能出现的涌水、可供选择的开挖方法、隧道埋置深度、对邻近建筑物有无影响、对周围居民的影响和噪声问题等。要尽量注意使地层不产生有害松弛。

爆破开挖,由于存在较严重的振动和噪声问题,多用于埋深较大、离开城镇的岩石隧道施工,该开挖方式具有费用低、施工效率高的特点,须采用尽可能减少围岩松弛和超挖的爆破方法。

机械开挖,比爆破开挖的振动和噪声小得多,适用于环境保护要求高、地表沉降限制严的区间开挖。要以施工长度、断面形状、机械进出通道、岩石强度、涌水等各种条件为基础,充分研究机械开挖的施工性和经济性。

人力开挖,因有施工效率低的缺点,所以限于不能使用机械开挖或爆破开挖的场所,多用于地层稳定性差、必须小断面分部开挖的未固结地层。

57.如何选择开挖方法?

答:开挖方法关系到施工的安全性和经济性,须充分考虑隧道

断面的大小与形状、地层等条件，选用能最大限度地利用围岩本来具有的承载能力、不使围岩出现有害松弛、开挖断面尽可能大的开挖方法。另外，选用的开挖方法应能容易适应所预料到的地质变化、涌水等现象，不需中途大幅度改变开挖方法。

具有代表性的开挖方法如下：

①全断面施工法。对于断面小、围岩稳定的隧道，因掌子面集中，容易进行施工管理；断面大且围岩稳定的隧道，开挖和支护均可用大型机械，施工效率高。开挖过程中如遇不良地质，可采用辅助施工法就能很好掘进，当掌子面不自稳，可改用浅台阶的全断面施工法，浅台阶长度为 2～6m。不过，该方式对围岩条件变化的适应性差，在施工过程中要改变施工方式很困难。

②上半断面超前施工方法。是一种上下分割开挖断面，上半断面超前的施工方法。超前长度 30～50m 的称为短台阶法，面把超前长度为 50～100m 以上的称作长台阶法。短台阶法适用于地质条件较差的场所，与长台阶法相比能较早的形成隧道断面闭合，可减小隧道变形。长台阶法的上下断面施工干扰较短台阶法小，适用于地质条件较好的场所。这种施工方法，需要特别注意上下半断面联络斜坡道的设置，对于施工的机械、材料的输送须充分考虑细节问题。在掌子面稳定性差的地层中进行大断面开挖的场合，可并用多段浅台阶施工法和环形开挖法。

③导坑超前施工方法。按导坑的设置位置，可分为侧壁导坑法、下导坑法、上导坑法、中央导坑法。让导坑超前，可掌握地层状况，有先行对涌水进行处理的优点等，是一种安全的施工方法。其中侧导坑超前法是在断面比较大、围岩支持力不够的情形下，以及在覆盖层薄的的区段极力要限制地表下沉的情况下使用的。

④隔墙分割施工法（CD 施工法）。是将隧道断面分为左右两大半进行开挖的方法，在土砂、软岩掌子面自稳性很差的地层，在大的偏平断面的隧道和浅埋土的地方必须抑制地表下沉的场合采用。这种施工方法，在后进的断面开挖时要慎重地进行顶部支撑的结合，要确认荷载从隔墙移到外侧的支撑上去之后，方可依次拆

除隔墙。

58.隧道开挖时需进行哪些观察?

答:为了及早发现和避免冒顶、涌水、瓦斯等灾害的出现,需要每天对开挖地点及其周边的围岩变化和支护变形进行观察,并将其结果进行记录。通常需进行的调查有:

①掌子面的岩性变化、结构面组合及其稳定状态等。

②掌子面的含水状态或涌水量、涌水压力、涌水的污浊度。

③洞内的氧气浓度、二氧化碳浓度、可燃性气体浓度、有害气体浓度的测量。

④已施工区间的围岩及支护的动态表现,特别要关注裂隙、裂缝、错位、挤入等现象的出现和发展。

⑤隧道开挖影响范围内地表面、地上的建造物及洞口的状况,包括地表开裂、沉降、滑动,以及由此引起的地表结构物的破损。

⑥隧道附近河流的流量、泉眼的出水量和水井的水位等变化。

⑦爆破后及地震后洞外浮石和洞内裂隙、漏水等的状况。

如对围岩动态的观察结果表明采用的施工法不能确保施工安全,或者判断出明显地会给周围环境造成恶劣影响,必须及时采取措施防止灾害的发生,并变更施工方法。

59.编制爆破计划有哪些注意事项?

答:编制隧道开挖爆破计划时应注意以下事项:

①充分考虑围岩条件、隧道断面的尺寸及形状、开挖方法等,使爆破对围岩扰动尽量小,且能炸出超挖量小的平滑开挖面,一般尽量采用光面爆破。必须设计成在爆破时不让飞散的岩石等对已施工部分和洞内临时设施造成损坏。

②仔细研究炮眼长度和直径、掏槽方式、炮眼布置、炸药种类及使用量、雷管的种类、爆破顺序等爆破参数与爆破效果之间的关系,必要时要进行试验爆破,在综合判断的基础上制定爆破计划。特别是爆破进尺,应在研究岩质、裂缝状况、风化程度等围岩条件

及掌子面自立性的基础上确定。爆破要素与爆破结果之间的关系见表 5-1 所示。

爆破各要素与爆破结果的关系　　表 5-1

爆破要素	石碴大小	碴堆状态	超挖量	爆炸产生气体量	围岩松弛	开挖面平滑度	振动噪声
爆破进尺			○		○		
掏槽方式		○					○
炮眼布置	○						
炸药种类				○			
炸药用量	○			○	○	○	○
周边眼距、用药量			○		○	○	
爆破顺序		○					

注：此表显示的是比较密切的关系。

③要考虑爆破造成的振动和噪声给地面及地下构造物、民宅、其他设施造成恶劣的影响。另外，对于民宅除爆破振动外，还有爆破声和低频空气振动问题。

④熟知有关爆破作业和火药类管理的规定，编制详细正确的爆破作业规程。

60. 爆破钻孔应注意什么？

答：①钻孔前，要对掌子面进行检查、清除危石，确认残留炸药回收干净，以防止钻眼时发生掌子面落石、钻入残留炸药而引爆等事故。

②禁止无关人员进入清除危石及钻孔作业的地方。

③须十分注意炮眼的位置和方向是否与爆破计划符合、炮眼的布置是否适应地层条件、炮眼深度是否不一致等情况。

④不准许在前一轮残眼中继续钻眼，以防止发生引爆事故。

⑤钻孔作业中，要充分注意异常的钻孔速度、钻孔排水的颜色和水量、凿出的岩屑，因在大多数场合中都能据此查知到一定程度的异常涌水、瓦斯喷出、地质变化等。

⑥选择钻眼机械时，有必要考虑岩质、隧道断面的尺寸和形状、隧道长度、开挖方法、掏槽方式、爆破进尺、装碴及运输方法、锚杆施工方法、工期等条件。此外，钻钎的直径、长度、材料性质及钻头种类、规格、材料性质等组合应与钻孔机械、岩质、钻眼长度及直径相适应。

61.爆破装药应注意什么?

答:①装药前应检查钻孔有无塌孔、孔深是否一致，还要检查掌子面有无浮石。特别是在有涌水的掌子面，更容易产生浮石及孔壁粗糙现象，故应引起作业人员的高度重视。

②在使用电雷管时，应采用规定的仪器和报警器确认场地的杂散电流、漏电等强度都在安全范围内，还必须禁止穿化纤等衣物以防发生静电放电。在有杂散电流的场合和有可能发生雷击时，必须中断装药作业，或采用非电起爆方式。

③在搬运电雷管时，不能将其脚线露出；电雷管的脚线除联线时，应经常处于短路状态；铺设爆破母线时，要远离电灯线、动力线及其他有漏电危险的带电线路；在连接电雷管脚线前必须进行检查母线，不应出现断线、漏接线、错误接线等现象，不要让母线接触地上轨道、管子或有漏电可能的地方；母线连接后，要在安全地点进行导通试验，在全体人员都避到安全场地之前，不要把母线连结在起爆器或电源开关上。

④装药作业时，不要在掌子面进行钻孔及其他作业。因在掌子面进行钻孔等作业，会误钻通装了药的孔，或因掌子面的落石和

机械类的冲击，造成爆炸。

⑤装药前，要进行清孔，孔内不能留有小石子。

⑥选择与掌子面条件相适应的炸药，如有涌水的掌子面必须用防水炸药，地温高的掌子面必须用耐热炸药，有可燃瓦斯涌出的掌子面必须用消焰、防爆炸药。

⑦间隔药包及填塞料应使用规定的材料，使用规定的捣棒，按正确顺序谨慎进行，防止发生误爆或不爆观象。

⑧装药工作完后，剩余的炸药要点清其数量，立即将剩余的强力炸药交回加工房，将剩余的黄色炸药交炸药库，以防丢失。

62.爆破作业应注意什么?

答:①进行爆破时，要让预先规定的爆破危险区域内的人员退避，配置看管员负责禁止人员进入爆破区域内，在接通知后方可进行点火爆破。

②在隧道两端掌子面接近贯通时，不仅要注意两端掌子的密切联系，而且在爆破时还必须通知对方退避及对退避安全加以确认。

③使用电雷管时，要做到对连接网路无异常的确认检查。爆破母线应使用完全绝缘的专用线，与起爆器连接的两个线头在非点火场合应使其短路。起爆器的开关，除进行点火外的其余时间，都应将开关上锁或者将起爆器钥匙取出拿走。起爆器与母线的连结应在马上就要点火前进行。

④有可燃性气体涌出的掌子面，规定气体浓度若不是在爆炸下限值30%(甲烷气体场合约为1.5%的浓度)以下就要停止进行爆破作业，但实际上当甲烷气体在0.5%左右的浓度时，多数场合都中止了爆破作业。

⑤爆破时应防止抛出的岩块等损伤已施工部分及洞内临时设置物。

⑥爆破后的掌子面，必须由指定的检查人员对掌子面周围进行充分的检查，清除掉全部危石，对不爆孔和残留炸药采取相应处理措施。检查作业过程中，禁止其他人员进入掌子面，只有当检查

者确认安全之后，方可进行后续作业。

⑦处理瞎炮时，必须采用下述的任何一种方法：距瞎炮孔0.6m以上打平行炮眼，进行装药爆破，回收未爆炸药；用橡胶管等向瞎炮孔内注水，将炮泥或炸药类冲出，回收未爆炸药；用水或压缩空气将瞎炮孔内炮泥冲出，或者一点一点地慢慢地把靠近雷管的大部分填塞物掏出后，重新加工装有雷管的药包进行再爆。

⑧爆破后，应在放炮后过5min(电力起爆)或1～5min(导火线起爆)才能接近掌子面，以防止意外事故发生。

⑨爆破效果与计划不符时，则要研究分析其原因，并在随后的爆破计划中加以反映。

63. 凿岩爆破参数怎样确定？

答：①单位炸药消耗量，即爆破每立方米的岩石用药量，是计算炮眼数目的重要依据，其取值应通过现场试验资料或国家规定的指标确定，表5-2所列数据可作参考。

单位炸药消耗量(单位 kg/m³)　　表5-2

工程项目		炸药类型	岩石类别			
			软岩(Ⅱ～Ⅲ)	次坚岩(Ⅲ～Ⅳ)	坚岩(Ⅳ～Ⅴ)	特坚岩(Ⅵ)
导坑	4～6m²	硝铵炸药	1.5	1.8	2.3	2.9
		62%胶质炸药	1.1	1.8	1.7	2.1
	7～9m²	硝铵炸药	1.3	1.6	2.0	2.5
		62%胶质炸药	1.1	1.25	1.6	2.0
	10～12m²	硝铵炸药	1.2	1.5	1.8	2.25
		62%胶质炸药	0.9	1.1	1.35	1.7
扩大炮眼		硝铵炸药	0.6	0.7	0.85	1.1
周边炮眼			0.55	0.65	0.75	0.9
底部炮眼			1.0	1.1	1.2	1.4
半断面	拱部	硝铵炸药	1.0～1.1			
	底部		0.5～0.6			
全断面		硝铵炸药	1.4～1.6			

坑道爆破的用药量按下式计算：

$$Q = q \times S \times L$$

式中：Q——每一循环爆破的用药量(kg)；

q——单位炸药消耗量(kg/m^3)，取值见表 5-2；

S——导坑断面积(m^2)；

L——炮眼深度(m)。

其中掏槽眼用药量约占坑道爆破用药质量的 30% ~ 35%，辅助眼和周边眼约占 65% ~ 70%。另外，单位炸药消耗量是随断面大小、眼深、炮眼直径、装药密度、炮眼利用率面变化的。一般为：断面大，单位耗药量少；装药密度由 0.7 提高到 0.95 ~ 0.98 时，炸药消耗可减少 20% ~ 25%；硬岩比软岩炸药量增加 30% ~ 35%；有两个自由面时，调整修正系数为 0.5，三个自由面时为 0.35。单位炸药量按炮眼深度而采用的系数见表 5-3。

单位炸药量与炮眼深度修正系数 表 5-3

炮眼深度(m)	0.75	1.00	1.5	2.00	2.5	≥3.0
系数	1.10	1.00	0.90	0.85	0.80	0.80

②炮眼数目，是指在一定的开挖面积上钻炮眼的个数。它直接影响凿岩工作量，过多或过少都会降低爆破效果和掘进速度。炮眼数目可参考表 5-4 的数据确定，也可按经验公式计算确定。

炮眼数目参考值 表 5-4

岩石类别	开挖断面积(m^2)				
	4 ~ 6	7 ~ 9	10 ~ 12	13 ~ 15	40 ~ 43
软岩(II ~ III)	10 ~ 13	15 ~ 16	17 ~ 19	20 ~ 24	
次坚岩(III ~ IV)	11 ~ 16	16 ~ 20	18 ~ 25	23 ~ 30	
坚岩(IV ~ V)	12 ~ 18	17 ~ 24	21 ~ 30	27 ~ 35	75 ~ 90
特坚岩(VI)	18 ~ 25	28 ~ 33	37 ~ 42	434 ~ 48	80 ~ 100

标准直径的炮眼(炮眼直径 35mm，药包直径 32mm)数目 N 计算公式：

$$N = \frac{qS}{r}$$

式中：q——单位炸药消耗量(kg/m^3)；

S——开挖断面面积(m^2)；

r——每米炮眼长度装药量(kg)，见表 5-5。

非标准直径的炮眼数目计算公式：

采用胶质炸药时

$$N_{胶} = 0.00075\frac{qS}{\alpha d^2}$$

采用硝铵炸药时

$$N_{硝} = 0.0012\frac{qS}{\alpha d^2}$$

式中：d——药包直径(m)；

α——炮眼装填系数，一般为 0.65～0.75。

每米炮眼长度装药量(kg) 表 5-5

炸药种类	炸药有效密度	每米炮眼装药量
62%硝化甘油炸药	1.35～1.40	0.95～1.20
硝铵炸药	0.95～1.05	0.50～0.70
压缩硝铵炸药	1.25～1.35	0.80～0.95
安全硝铵炸药	1.0～1.15	0.5～0.80

③炮眼深度，指要选择的最优炮眼深度，应为掘进每米坑道耗时最少的炮眼深度。

按导坑断面宽度决定炮眼深度的计算式：

$$L = (0.5 \sim 0.7)B$$

式中：B——坑道断面宽度(m)；

L——炮眼深度(m)。

按掘进循环时间决定炮眼深度的计算式：

$$L = \frac{T - \left(\frac{Nt'}{n} + t_3 + t_4\right)}{\frac{N}{mv_{cp}\delta} + \frac{S\sin\alpha\eta\phi}{p}}\sin\alpha$$

式中：L——炮眼深度(m)；

T——掘进循环总时间(min)；

t'——每个炮眼装药时间(min)；

N——开挖面炮眼总数(个)；

n——同时装药的人数；

t_3——爆破通风时间(min)，一般为 15～30min；

t_4——从一个循环转入下一循环作业过程所损耗的时间(min)；

m——同时作业的凿岩机台数；

v_{cp}——平均凿岩速度(m/min)；

δ——凿岩机利用率，取 0.7～0,8；

S——开挖断面的面积(m^2)；

α——炮眼角度(°)；

η——炮眼利用率，一般为 0.7～0.85；

ϕ——凿岩与装碴平行作业系数，一般为 0.4～0.6；

p——装碴机实际生产率(m^3/min)。

④光面爆破参数，见表 5-6、表 5-7，表 5-8。

光面爆破参数 表 5-6

围岩类别	周边眼间距 (E)(cm)	周边眼抵抗线 (W)(cm)	相对距离 (E/W)	装药集中度 (q)(kg/m)
硬岩	55～65	60～80	0.8～1.0	0.3～0.35
中硬岩	45～60	60～75	0.8～1.0	0.20～0.30
软岩	35～45	45～55	0.8～1.0	0.07～0.12

注：炮眼深度 1.0～3.5m，炮眼直径 40～50mm。

预留光面层光面爆破参数 表 5-7

围岩类别	周边眼间距 (E)(cm)	周边眼抵抗线 (W)(cm)	相对距离 (E/W)	装药集中度 (q)(kg/m)
硬　岩	60～70	70～80	0.7～1.0	0.20～0.30
中硬岩	40～50	50～60	0.8～1.0	0.10～0.15
软　岩	40～50	50～60	0.7～0.9	0.07～0.12

注:炮眼深度1.0~3.5m,炮眼直径40~50mm。

⑤炮眼利用率,是指坑道掘进进尺与炮眼钻孔深度的比值,它综合反映采用的单位耗药量、炮眼深度、填装系数等爆破参数是否恰当,是反映爆破效果的重要标志。一般为0.8~0.9即认为基本达到要求。表5-8为炮眼利用率与月掘进速度对照表。

炮眼利用率与月(30天)掘进速度对照表 表5-8

工班循环制	循环时间	循环数			炮眼利用率为80%时的掘进速度			炮眼利用率为90%时的掘进速度		
		每班	月最大数	循环率为95%时	炮眼深度(m)			炮眼深度(m)		
					1.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.5
3班3循环	8	1	90	85	102	136	170	115	153	191
4班3循环	6	1	120	114	137	182	228	154	205	357
3班6循环	4	2	180	172	205	273	342	231	308	385
4班8循环	3	2	240	228	273	365	456	308	410	513

64.掏槽炮眼深度怎样确定?

答:可用下式求出:

$$L = (0.25B - 0.2)\mathrm{tg}\alpha$$

式中:L——掏槽眼深度(m);

B——坑道断面宽度(m);

0.2——掏槽眼底距离(m);

α——掏槽眼与开挖面夹角(°)。

65.直眼掏槽有哪些形式?

答:垂直掌子面钻孔,留空眼作为被爆体内新增的临空面,一次起爆或由中心向外分段起爆各装药孔,最终在掌子面内爆出一

个足够大的临空面，称为直眼掏槽，常见形式及参数见表 5-9。

掏槽炮眼形式和参数 表 5-9

参数 / 形式	掏槽眼间距(mm)			装药量	起爆顺序	适用条件
	水平	垂直	外层孔			
一字形	150	300	400	0.8L	分三段	Ⅳ类砂岩、石灰岩
四眼三角形	$E=2.5d$				一段	泥页岩
六眼三角形	$E=2.0d$				一段	砂岩
单空眼菱形	100～150	170～200		0.7～0.8L	分二段	页岩和中硬岩，$L<2$m
双空眼菱形	100～150	170～200		0.7～0.8L	分二段	坚硬岩 $L<2$m
四空眼十字形	160～200	250～300		0.7～0.8L	分二段	各类岩层 $L>2.5$m
九眼中空对称形	200	350～400			分二段	软岩和中硬岩 $L<2$m
大直径空眼	中空眼为 100～200mm，掏槽眼与中孔眼间距一般为 100～400mm					

注：d-炮眼直径；L-炮眼深度。

66. 斜眼掏槽有哪些形式？

答：与掌子面成一定角度钻孔，一次起爆各装药孔，在掌子面内爆出一个梯形的临空面，称为斜眼掏槽。根据被爆体内新增的临空面形状，将掏槽眼布设分为垂直楔形、水平楔形、爬眼。同对掏槽眼的眼口距离，由炮眼的深度和角度确定，眼底的距离为 10～20cm，掏槽眼主要参数可根据岩石硬度及物理力学特性决定，

一般参考表 5-10。

斜眼掏槽主要参数　　表 5-10

围岩分类	掏槽眼对数	每对掏槽眼间距(cm)	掏槽眼与掌子面夹角
Ⅵ	3～4	20～30	55°～60°
Ⅴ	3	30～40	60°～65°
Ⅳ	2～3	40～50	65°～70°
Ⅲ	2	50～60	70°～75°

67.直眼掏槽与斜眼掏槽各有哪些特点?

答:直眼掏槽的特点如下:

①适用于坚硬完整岩层;

②打眼深度不受断面限制;

③打眼干扰少,可以多机作业,但在掏槽部位,炮眼集中,控制打眼时间;

④循环进尺变更时,只需增减炮眼深度,容易掌握;

⑤不用大直径空眼时,掏槽眼数目较多;

⑥打大直径空眼需用重型凿岩机;

⑦炮眼间距近容易发生殉爆和拒爆;

⑧要求雷管段数多,最好用毫秒雷管并按正确起爆顺序起爆。

斜眼掏槽的特点如下:

①适用于均质完整岩层或有近似垂直、水平的层理、节理裂隙和夹层的岩层;

②打眼深度受断面宽度或高度限制;

③循环进尺变更时,炮眼角度更改复杂;

④水平楔形掏槽打眼困难。

68.对光面爆破效果有哪些要求?

答:光面爆破允许超、欠挖和炮痕保存率见表 5-11。

光面爆破允许超、欠挖和炮痕保存率　　表 5-11

项　　目	硬　岩	中硬岩	软岩
平均线性超挖量（cm）	10	15	15
最大线性超挖量（cm）	20	25	25
两炮衔接台阶的最大尺寸(cm)	15	15	15
炮眼痕迹保存率（%）	≥80	≥70	≥50
局部欠挖量（cm）	5	5	5

注:①超欠挖的测量以爆破设计开挖线为准;

②平均线性超挖量 = 超挖面积/爆破设计开挖断面周长(不包括隧道底宽度);

③最大线性超挖量系指最大超挖处至爆破设计开挖轮廓切线的垂直线;

④炮眼痕迹保存率 = 残留有痕迹的炮眼数/周边炮眼总数,应在开挖轮廓面上均匀分布;

⑤欠挖范围每平方米内不大于 0.1m²。

69. 如何尽量减少爆破超挖量?

答:在考虑了支护、变形裕量的开挖断面设计轮廓线的外侧总不免会有超挖。超挖量随岩质、裂缝状况、开挖方式等而异,超挖过多,不仅因出碴量和衬砌量增多面提高工程造价,而且由于局部挖掉围岩会产生应力集中问题,因此有必要尽量减少超挖量。

用爆破法开挖时,虽然充分考虑了断面尺寸、形状、开挖方法,以及岩质、裂隙、涌水、风化程度等围岩条件而决定爆破计划,但为减少超挖量,在采用能充分确保钻孔精度的钻眼设备的同时,还有必要研究光而爆破技术。主要有以下措施供参考:

①全断面开挖的隧道,可考虑采用上半断面(拱部)光面爆破、下半断而(边墙)预裂爆破的综合爆破方案。分部开挖时,可采用预留光面层光而爆破方案。

②通过试爆确定光面爆破参数:周边眼的间距(E)、最小抵抗线(W)、相对距离(E/W)、装药集中度。

③周边炮眼施工应按下列要求进行:开眼位置应在断面轮廓上,允许沿轮廓线调整的范围不得大于 5cm;周边眼方向应以 3%～5%的斜率外插,并应根据不同的炮眼深度,适当调整斜率,

保证眼底不超出开挖断面轮廓线 10cm；当开挖面不齐时，应按实际情况调整炮眼深度和装药量，要力求所有炮眼眼底在同一垂直面上；内圈炮眼至周边炮眼的排距误差应不大于 10cm；炮眼深度超过2.5m时，内圈眼与周边眼应用相同的斜率钻眼；周边眼装药要按小直径药卷连续装药、或间隔装药、或导爆索装药、或空气柱装药等结构形式；周边眼均应堵塞炮泥，堵塞长度一般不宜小于20cm；周边眼以一次同时起爆为宜，起爆的孔数应根据地质条件确定；当软岩隧道必须对爆破震动加以控制时，周边眼可分组起爆。

70. 怎样防止剥落、冒顶？

答：采用新奥法施工，大多采用全断面掘进或台阶式掘进，面且每一循环的开挖进尺也都尽可能的大。因此，掌子面及周围出现剥落和崩坍的危险性也相应增大。在钻孔、装药、爆破、出碴、支撑、喷混凝土、岩石锚杆等各作业阶段，必须采取防止剥落、冒顶的措施。基本措施有：

①完备掌子面作业管理体制。指定掌子面的专职检查者，对掌子面浮石、裂隙及漏水的状态等，在爆破后、地震后，每天必须进行检查，并做好记录；配置掌子面作业的监视员，经常留意围岩、支护的动态和各作业人员的行动，对不安全的状况和行动及时提出警告。作业指挥者(工长)，对掌子面的围岩状态及浮石、刮凿状况，在出碴、支护、喷混凝土、钻孔、装药等作业前必须进行确认。掌子面作业由于是重复作业，管理活动容易公式化，需开展教育活动随时警示起全体作业人员。

②实施掌子面的彻底刮凿。爆破后或出碴后使用液压破碎机，将掌子面的拱顶部、边墙部、正面全部细致地进行刮凿；在装药前使用钻孔台车或吊篮实施仔细的检查和刮凿；在有涌水的场合，裂隙多的场合，以及开挖面长时间闲置着的场合等，都必须及时对浮石实施检查与刮凿；对于刮凿后仍然有剥落危险的场合或长时间空出掌子面的场合，必须采取掌子面喷混凝土等措施。

③采取防止剥落的措施。在地质状况差、崩坍性显著、不能充

分刮凿的场合，要采用正面喷射混凝土、周边锚杆、掌子面注浆等对策，防止崩落。作业员要戴安全帽、穿安全长靴、携带保护器等器具；在钻孔台车的吊篮安装上防护顶罩，以防万一有落石，可对作业人员起到保护作用。

④采取禁止人内的措施。在实施刮凿前或者是在刮凿中，即便是在掌子面的作业员也要禁止进入隔离线以内，更要采取禁止除刮凿作业人员以外的人入内的措施。

⑤作业环境等的整备。经常性的整理和整顿掌子面作业场地，以便维持安全的作业场所。如：加强通风，保持视野；加强照明，保持充足的照明度；做好排水处理，防止隧底积水。

71. 掌子面稳定有哪些对策？

答：隧道开挖的先决条件是在开挖后到支护结束，掌子面要自稳和围岩要稳定。否则要对掌子面采取稳定对策，通常根据稳固目的，可分为掌子面和拱顶的稳定对策、上半部围岩的支承力对策、涌水对策，见表 5-12。

主要的掌子面稳定对策 表 5-12

目的	对策		地质条件			概要
			硬岩	软岩	土沙	
拱顶稳定	超前支护 $L\leqslant 5m$	充填式	○	●	○	沿拱顶、近水平向，打设 5m 以下长度的钢管，注入式可改善地层
		注入式	○	●	●	
	超前支护 $L\geqslant 5m$			○	○	沿拱顶、近水平向，打设 10m 以上长度的钢管，压力注浆
	斜锚杆			○	○	沿拱顶、向上斜，打设砂浆锚杆
掌子面稳定	喷混凝土			●	●	涌水地段要采用瞬凝喷射法等粘附性好的方法
	锚杆			○	○	锚杆材料最好是在开挖时容易被切断的玻纤维等
	分割开挖面			○	●	留核心土、环形开挖等，减小开挖面积、提高掌子面的自稳性

续上表

目的	对策		地质条件			概要
			硬岩	软岩	上沙	
上半断面	扩大支护脚部			○	●	脚部增强钢撑、加厚喷混凝土，利用地基承载力
	脚部加强锚杆			○	○	脚部下方打设锚杆，增强支承力
	临时闭合			○	○	喷混凝土、或钢支撑形成临时仰拱
涌水	药液注浆		○	○	○	向地层注入药液，减少涌水量
	排水	排水孔	●	○	○	排水钻孔、排水坑属自流方式，深井、井点属强制式排水方式
		排水钻孔	●	●	●	

注：●使用较好的施工方法；○因场合不同而采用的施工法。

72. 选择开挖机械应注意什么？

答：开挖机械应考虑围岩条件、隧道断面尺寸和形状、隧道长度等。需注意的要点有：

①钻臂式掘进机适用于不宜采用爆破方法的软岩，可用以开挖任意断面的隧道，比隧道掘进机轻巧、便宜，但掘进速度慢，当围岩条件变化时，较易改变施工方法。隧道掘进机适用于中硬岩、圆形断面的隧道全断面开挖，如地层良好，则可能高速掘进，不过存在初期投资太大，变更开挖直径很困难，改变施工方法代价高、工期延迟等问题。

②必须进行岩石的强度、硬度、矿物成分和围岩的裂隙状态等的调查，如有必要时还应进行切割试验。

③事先研究机械开挖在遇到有局部不良的围岩、或者超过掘进机能力的坚硬围岩、以及对于洞壁的剥落、掌子面的崩坏和变形、涌水等的处理对策。

73.机械开挖需注意哪些事项?

答:①钻臂式掘进机主要用于软岩或未固结的围岩,因此特别要考虑掌子面的自立性,必须制定出弧形导坑开挖、限制每循环进尺和及时支护的掘进模式。

②用钻臂式掘进机开挖时,要求作业人员应尽可能减少超挖。

③在涌水地层中使用钻臂式掘进机,除考虑加强排水使掌子面不积水外,还必须考虑采用路面板、衬板等措施,以保证钻臂式掘进机行走顺利。

④用隧道掘进机开挖时,为了使作业高效而经济,应在充分研究岩石试验等成果的基础上,选定刀具的类型和配置方式、刀盘转数及推力等。

⑤还应进行周密的运转管理以防止隧道掘进机蛇行等事故发生。

第二节 石碴处理

74.如何编制石碴处理计划?

答:石碴处理可分为装碴、运碴、弃碴三部分,而基本作业是运碴。编制石碴处理计划时,要从以下几方面着手:

①考虑围岩的地质条件、掌子面的涌水现象、隧道的开挖方法和开挖方式,研究爆破后石碴的尺寸、硬度、吸水后的变化、体积增加率等。因石碴的这些性质状态受地层条件、开挖方式等的影响。

②因石碴的尺寸及其级配、硬度及吸水后的变化关系由装碴机、运输设备、二次破碎设备等决定,而石碴体积增加则与石碴处理设备的容量有关。石碴量除受体积增加影响外,还因超挖面增大,因此应考虑这些因素而综合估计石碴量。

③根据隧道周围环境、弃碴场位置及运输路线、隧道的断面尺寸和长度及坡度决定运输方式,即采用轮胎式或轨道式运碴,进而

确定装碴机械、运输机械、弃碴设备等。运输方式决定后，应考虑石碴状态，再将装碴机、运输机械及其组合加以研究比较，从而确定安全、高效的石碴处理计划。

75.装碴作业注意事项有哪些？

答：①要观察爆破后所出现的新掌子面的围岩状况、裂隙和涌水状况是否有变化，若有崩坍危险，在出碴之前，必须采取应急处理措施。

②在装碴作业中要注意爆后残留在掌子面上和埋在爆碴之中的拒爆残药，即使在弃碴场地也需要进行对拒爆残药的检查。

③在掌子面附近，每次爆破作业均要拆去电线和照明，使装碴作业照明常常不足，故要求装碴机自身照明设备完善，保持足够亮度。

④装碴作业是在狭窄的隧道断面内作业，必须挂牌，严禁与装碴作业无关的人员进入，并配置监视员。当不得已因其他作业面进入掌子面时，必须彻底暂时中断装碴作业。

⑤装碴作业时，注意不要损坏钢支撑、喷混凝土、锚杆等支护和高压风管、通风管、电线等临时设备等；向运碴车辆中装碴时，必须避免偏载、超载、运输途中掉碴等。

⑥在掌子面使用的装碴机，要备有坚固的顶板。作业人员必须佩戴防尘罩等保护器具，根据需要采取洒水等使粉尘降低的措施。

76.洞内运输方式的选择应考虑哪些因素？

答：洞内运输方式一般采用轮胎式及轨道式两种。轮胎式使用自卸卡车、搅拌卡车等车辆，可以不必倒装而完成洞内与洞外的运输，因而比轨道式所需洞内、外临时设备要简单，适用于大断面、少涌水的隧道。但因车辆排出废气面须用大型通风设备。轨道式是在洞内铺设轨道，将斗车、台车、搅拌车等连成列车，用机车牵引的运输方式。此种方式不受隧道规模、地质条件等的制约，但却受

隧道纵坡的限制，当坡度达20%以上时，车辆滑走的危险性增高，必须采取可靠的防滑行措施。洞内运输方式需考虑围岩条件、现场条件、隧道断面尺寸、隧道长度、坡度、开挖方法和开挖方式等条件而选择最合适的运输方式。表5-13给出轮胎式与轨道式的比较。

轮胎式与轨道式的比较　　表5-13

项目	轮胎式	轨道式
洞外设备	简单设备即可	一定程度的设备，并须设地基
通行道路	须补修路面；在涌水量大、地层软的场合下一般不适用	不损伤路面，无论地层软硬均可用
坡度限制	限制少	有限制
断面限制	小断面不适用	与轮胎式相比可用于较小断面
通风设备	必须大型设备	用电瓶车的场合下，与轮胎式相比设备规模较小

77. 洞内运输对道路及轨道有什么要求？

答：用轮胎车辆运输时，对道路的要求有：

①从隧道的开挖面到弃碴场地，通过狭窄的道路，必须按需要设置退避所和转向场所。同时，还必须设置行人的安全通路。对于在洞内转向的方法，有由操作运输车的方向盘来进行的和转车盘方式或横坑道掘进方式（超挖方式），这就要斟酌隧道内的状况和采用的机种后，再决定采用哪一种。对于台阶式掘进施工法的上下半断面的联络坡道，在没有充分宽度时必须采取防止车辆掉下等措施。

②不注意排水，容易使正施工的隧底损坏，不仅运输效率降低，而且对整个地下建筑物都有坏影响。因此，应注意保持隧底的

纵、横坡度及排水沟，必要时应用水泵排水，还应根据地质及涌水状态考虑用砂砾、碎石、衬板铺底，或铺设临时路面等。特别是在转车盘周围，应严格清理石碴和排水，经常保持良好状态。在长大隧道中必须规划好临时路面铺装和为了防止粉尘发生而进行的洒水。

③在洞内有衬砌拱架和电器机械、通风给水管道等重要临时设置物，如被运输车等碰撞，就有可能造成灾害，因此在洞口和拱架、重要临时设置物的附近必须用夜光涂料和红灯易见标志表示。此外，也可采用光电转换开关的方法对危险地段进行警示。

用轨道车辆运输时，对轨道的要求有：

①要根据运输车辆质量选择钢轨、枕木等，按车辆设计图进行轨道铺设，注意确保线形和轨距。表 5-14 为各使用车辆标准轨道结构示例。但是，对于枕木为等三线的场合使用 10m13 根以上，对于固定道岔部必须全部使用双头联接枕木。

各种使用车辆类别的标准轨道结构示例　　表 5-14

使用机车 (t)	装碴车辆 (m^3)	轨道间距 (mm)	使用钢轨 (kg/m)	枕木尺寸 (cm)	枕木间距 (cm)
12～15	8.0	914	30	17×14×150	75 以下
10～12	6.0	762,914	30	17×14×150	75 以下
8～10	4.5	762,914	22～30	15×12×130	75 以下
6～8	3.0	672	22	15×12×130	75 以下
6 以下	3.0 以下	610,762	15	15×12×130	75 以下

②在圈岩路基上铺设时，要进行充分排水，随时补给砂砾、碎石保护路基；在混凝土路基上铺设时，为经常保持好枕木的磨合，要常用木制路拱等作调整。钢轨接头必须用接头钣加以固定，接头的左右及上下误差保持在 3mm 以内，接头游间保持在 5mm 以内；钢轨应用道钉、止动垫板、止动销等铁件，牢牢地紧固在枕木、混凝土道床等上；轨道分岔处设置具有可靠机能的转辙器及辙叉。

③轨道曲线部分，轨道的曲线半径要尽量大，不得已时也希望要在 30m 以上，并设置适当的超高与加宽，必要时应设护轮轨。

轨道的坡度应为 50/1000 以下。当车辆有顺坡滑走的危险性时，要设置滑动防止装置，大致按 300～500m 的间隔安装。在轨道的终端要设置可靠的车档装置。

④斟酌钢轨质量、轨距、坡度、曲线半径、车辆质量、制动距离等，规定出适合作业场的限制速度。洞内在曲线区间、越度区间、转辙器、人行横道处等要设慢行限制。车辆的限制速度、注意或危险等必须用交通标志及标灯明示出来，让运输驾驶员及有关作业员都知道。

78. 关于石碴处理机械选型有哪些考虑？

答：①关于装碴机。装碴机的驱动方式有电动、内燃机驱动两种，走行方式有轨道式、履带式、轮胎式三种，装碴方式有多种多样，故选定机械时应选择适合坑道断面、装碴能力与运输机械容量互相平衡、能在断面全宽装碴、与洞内运输方式相配套的机种。

②关于运碴车辆。用轨道方式运输的斗车大小和列车编组车辆数是决定机车、轨道构造、调车方式的因素。斗车的类型有固定式、侧卸式、底卸式等，要根据弃碴条件而恰当选用。利用斜井出碴时，有用卷扬机直接牵引斗车出碴方式、用箕斗车运出方式。利用竖井出碴时，有用抓斗出碴方式、箕斗出碴方式及罐笼出碴方式。

③关于弃碴设备。采用轨道方式运输，如隧道洞口附近有弃碴场时，可把轨道延长而直接弃碴，但弃碴场远离隧道时，或在洞口附近设储碴仓暂时存放，或就地临时堆放。用储碴仓需通过仓底的出料口将碴装入自卸卡车运走，临时堆放则需用单斗挖土机将碴装入自卸卡车运走。翻转斗车装置，按斗车形式可分翻车机和斗车倾卸机两大类，必须选用适合斗车构造的高效机种。

79. 运输作业如何组织管理？

答：综合开挖施工计划决定使用运输车辆的种类、台数、搬运量、工作时间等，制定安全而合理的作业计划，又要订出为了实现

安全运输作业的具体的车辆运行管理规定，建立安全管理体制。具体要点如下：

①洞内的速度限制虽可根据隧道的延长、洞内运输路况而制定，但一般设定为20km/h以下居多。

②在装碴场、弃土场、崖边、倾斜地等运输机械有倾倒或掉下的危险时，必须安排引导员。视线不好的场所、与公路的交叉部等，为确保安全采用信号和转弯反光镜等防止事故的措施。

③在隧道内使用的运输车辆，倒退运行时，原则上要按照导向员的联络信号进行。装载要遵守车辆限制规定，不要发生超载、货物垮塌、掉货等。

④在安全通道、作业地点、限速区间和暂时停车地点、避车地点、转车盘设置和转向场所等危险场所，要设置能使司机明确识别的标识或标灯。

⑤对用于运输车辆的各种状况，要求司机或检查负责人在开始作业前进行检查。对检查结果确认有异常时，要马上修理或采取其他必要的措施。

⑥定出巡道保线员，随时进行钢轨和枕木的检查及轨道的维修管理。

⑦机车要设警笛和警报器等警报装置、前照灯和驾驶座的照明灯。对于客车，要按规定搭乘定员，设置栅栏和上下车门、座位、手握固定杆等设备。运碴使用梭式矿车时，要注意整个车体长都能合理而安全地通过轨道的曲线部分，主体车宽不应有突出部。

80.洞内运输作业应注意哪些事项？

答：在有轨运输中，由于与车辆有关的事故容易造成重大事故，因此对车辆的运转，应注意的事项如下：

①机车的运转，要由受过特别教育的人驾驶。

②对司机、信号员等，需事先就运转图表、轨道车辆的标准联络信号方法、运转所必须的事项进行充分教育，并要确实遵守。

③除少数人员或临时输送之外，禁止用非乘人车辆输送作业

人员。长大隧道，最好配备乘人车并定时运行。此外，乘人车应设座位、扶手等，周围要围护，其构造要能防止人员掉落。车辆开动时要禁止跳上、跳下。

④驾驶员离开驾驶室时，一定要停止动力，刹好车。对于在有坡度的轨道上停放车辆时要确实刹车。停在洞内时要用照明标志、标灯等以便于判断。

⑤安排引导员让其引导倒车运转，并配备引导员和驾驶员间的联络装置。让引导员搭乘先头车辆时，为防止引导员从车辆上掉下发生危险，故要采用设有栅栏的车辆或在乘车台上搭乘等措施。

⑥在车辆搭乘者与隧道内部的边墙、拱顶、障碍物等之间必须确保留有一定的距离。如因围岩、支撑发生了变形而不能确保有必要的距离时，必须设置标志和标灯让搭乘者易于识别和躲避。

⑦用电瓶机车牵引的钢斗车的编组车辆数，要在对轨道的坡度、钢轨的状态、车辆质量等斟酌后决定，并要确保安全制动距离。

⑧运转前，驾驶员和引导员，要与作业指挥者协商当日的作业地点、作业内容以及对运转的其他注意事项等。对机车等进行检查，确认有无异常。车辆向洞内发进时，要确认车辆前后左右的安全，要按引导员的联络信号发进。

⑨作业结束后要把车停在规定的场所，制动好存车刹车，停止动力，拔出杆式操纵柄或钥匙，放在规定的场所保管。停车位置原则上在水平场地上，不得已需停在倾斜轨道时，一定要用制动器等防止滑动。要对蓄电池的放电限界或燃料进行确认，当容量不足时要及时进行更换、补充。

⑩对于各类车辆开始作业时的检查、月检、年检，除一般的检查项目之外，还要按各车辆所具有的性能进行检查。检查要按计划进行，检查结果要记录，并保留。

第六章　支护衬砌

第一节　喷射混凝土作业

81.如何选定喷射方式?

答:喷混凝土的施工方式,根据混凝土搅拌方式及压送方式不同,大体分为干式与湿式两种。在施工时,要斟酌地层条件、有无涌水、喷射量等其他施工条件,来选定最合理的喷射方式,且要好好研究所选定方式的优点、缺点,必须注意用正确的施工方法进行施工。

干式喷射,是将水泥及骨料干拌后加速凝剂,用压缩空气压送至喷嘴,在喷嘴处加水喷出。由于是在喷嘴处将水和干拌料混合,因此混凝土的质量受喷射工的熟练程度和能力的影响。干式喷射的特征如下:

①压送材料的距离比湿式要长,可长距离压送。

②由于可把速凝剂投放到喷射机的前段进行添加,所以除了拌和性好、具有预期的提高速凝剂的效果之外,也可使用液体速凝剂。

③一般比湿式喷射每单位时间的吐出量少。

④一般情况下反弹大、粉尘多,但熟练的作业员操作其反弹率和粉尘量可做到与湿式无较大的差别。

⑤根据喷射面涌水状况,可调节拌和水的添加率来提高混凝土的粘附性。

湿式喷射,是用压缩空气或泵压力压送预拌混凝土,在喷嘴附

近或之前添加速凝剂进行喷射的方式。用泵压力压送时，在喷嘴前必须添加由增压器产生的压缩空气。湿式喷射的特征如下：

①吐出量比干式大，但能得到良好的吐出量的混凝土坍落度范围窄。

②可用 W/C 所定的计量管理，混凝土质量容易保证。

③反弹、粉尘比干式少，但泵压送式的湿式方式，因其速凝剂的拌和不甚充分，故有变成粉尘飞溅的倾向。

④压送距离受限制，不适于长距离压送。

82. 对喷射作业前的准备工作有哪些要求？

答：①检验水泥、砂、石、速凝剂、水的质量。砂、石均应过筛，并应事先冲洗干净。砂、石含水率应符合要求，为控制砂、石含水率，一般应设置防雨棚，干燥的砂子应适当洒水。

②喷射机、混凝土搅拌机、皮带运输机等使用前均应检修完好，就位前要进行试运转。管路及接头要保持良好，要求风管不漏风，水管不漏水，沿风、水管路每隔 40～50m 装一阀门接头，以便当喷射机移动时，联结风、水管。

③备好脚手架或喷射台车，以便于喷射边墙上部或拱部。埋设测量喷混凝土厚度的标志，如利用锚杆预留一定长度作标记时，应将多余长度锯掉。

④作好回弹物的回收和使用的准备，喷射前先在喷混凝土地段铺设薄铁板或其他易于回收回弹物的设备。

83. 对喷射面的处理有哪些要求？

答：①检查开挖断面，欠挖处要补凿够。敲帮找顶、清除浮石。用高压水或高压气清除附着岩面的泥污、灰尘和细岩渣及飞溅的喷射材料。每次处理 10～20m 为宜。

②喷混凝土和围岩之间的水膜，既会妨碍粘附力，同时又会使强度出现推迟。改善的方法是用凿岩机钻孔作掌于面前方及周边围岩的排水。

③装有金属网、钢筋、排水设施、量测元件等的喷射面，应将其固定牢靠。因钢筋和金属网固定不牢时，在喷射过程中会移动和振动，将增大回弹量。因此应使用锚固筋、锚固栓等将其完全固定。

84. 对喷射作业的要求有哪些？

答：①干喷作业时，要求风压稳定，压力大小调整适当。水压一般要比风压高 50～100kPa，要求在喷头水环处形成水雾，使干拌和料充分湿润。

②干喷水灰比的控制，目前只能凭借喷射手的经验目测掌握。如喷射的混凝土易粘着，回弹小，表面湿润光泽，说明水量合适，此时的水灰比一般在 0.4～0.5 之间。如果表面无光泽，或出现干斑，回弹物增加，灰尘飞扬，混凝土不密实，则说明水量小；如果表面塑性大或出现流淌、滑动现象，说明水量大。喷射手应根据这些现象，及时调整水量。

③喷嘴与岩面的角度，一般应垂直于岩面。但在喷边墙时，宜将喷嘴略向下俯 10°左右，使混凝土束喷射在较厚的混凝土顶端。喷射距离是以喷混凝土最小的回弹和最高的强度来确定的。原则上以能看清喷射情况，使料束集中，回弹量小为宜；一般以 0.6～1.2m 较好。喷射手应视具体情况，选用适当的喷射距离。

④适宜的一次喷射厚度就是混凝土层在不错裂、不脱落的情况下达到的最大厚度。分层喷射厚度一般为粗骨料最大粒径的二倍，如一次喷射厚度小于 5cm，使用石子的最大粒径也要相应减小。分层喷射厚度主要与喷射部位有关，可参见表 6-1。

喷射厚度与喷射部位 表 6-1

项 目	一次喷射厚度(cm)	
	掺速凝剂	不掺速凝剂
拱 部	5～6	3～4
边 墙	7～10	5～7

⑤分层喷射合理的间隔时间不仅与水泥品种、速凝剂掺量有关，而且与施工温度、速凝剂种类和水灰比大小等有关。分层喷射间隔时间不宜过短，当掺入（红星一型）速凝剂 2.5% ~ 4% 时，分层喷射的间隔时间一般为 15 ~ 20min。

⑥喷射的顺序应先墙后拱，自下而上。如岩面凹凸不平时，应先喷凹处找平，然后向上喷射。喷射时喷嘴料束应呈旋转轨迹运动，一圈压半圈，纵向按蛇形进行。转动半径一般在 15cm 左右，每次蛇行长度 3 ~ 4m 或根据速凝效果而定。喷射纵向第二行时，要依顺序从第一行的起点处开始，行与行间须搭接 2 ~ 3cm。料束旋转速度，原则上要均匀，不宜太慢或太快。如因工程需要适当考虑美观时，可在喷混凝土表面上再喷射一层同强度水泥砂浆，此时喷射顺序应自上而下，喷头料束呈横扫方式运动，不能旋转或停留，以使表面平整光滑。

⑦喷射应使围岩的凹凸完全被覆盖，有钢支撑时应注意使喷混凝土与钢支撑结成一体，要注意在钢支撑背面不留空隙。为了防止后续的防水卷材破损，喷层表面应进行平滑加工。特别是在上半断面和下半断面连接处，施工时容易发生凹凸不平现象，必须加以注意。另外也应注意不要在回弹材料上继续喷射。

85. 预防和处理堵管故障有哪些措施？

答：造成堵管的主要原因有：筛选不严，有杂物或大石块、结块水泥混入拌和料中；砂、石含水率过大，引起管壁粘结；喷射机用毕未清洗，再次运转中有大块粘结物脱落；输料胶管内壁磨损翻起，输料阻力大增；输料管漏风，风压降低；输料管出现死弯或弯度过大；供风压过低或风量不足。

堵管现象表现为：料罐内有拌和料，但喷枪不出料；喷射机压力表指针突然上升，工作料罐内压力增大；喷射机突然出现反风现象。

排除方法为：

①停止上料，停风关机，打开排气阀，放出罐内压缩空气；

②找出堵塞部位；

③如在输料胶管堵塞，可将胶管托起，用木棍沿堵塞部位的前端逐渐向堵塞部位敲打至胶管松软，如在喷出弯管或在喷枪出口处堵塞，可卸下弯管或喷枪，用铁条疏通；

④最后打开风阀送风，排出积料。

预防堵管措施有：

①喷射机在使用前或使用后，要检查、清理料罐中的余料杂物，停止工作 时，上料口应加盖盖严，防止杂物、石子掉入；

②在操作过程中经常用木槌敲打罐体，使拌和料不致粘结在料罐内壁；

③在喷射机的上料口处再增设一道筛子；

④对已磨损的输料管要及时包扎或更换；

⑤输料胶管的弯度要适宜，避免死弯；

⑥喷射前要检查风压、风量，风压或风量不足时不喷。

86.喷射作业中需注意哪些安全事项？

答：①严禁将喷枪对准其他施工人员，以免突然出料时伤人。

②如出现堵管现象，可能有大石块堵住喷出弯管，应立即停机排除，切勿将大石块强行吹出。

③震动疏通喷管时，操作员紧握喷枪，以免送风时喷枪甩动伤人。

④处理堵管时，料罐工作风压不能超过0.4MPa。

⑤严禁在机械运转的情况下将手伸入喷出弯管或料罐内处理堵塞或清理料罐。

⑥平行作业中处理堵管时，应通知附近工作人员避开喷枪出口方向。

⑦喷射手应佩带防护面罩或防护眼镜、胶布雨衣和手套，洞内工作人员带防尘口罩，加速凝剂的工作人员应带胶皮手套。

87.喷射作业中有哪些防尘措施?

答:①适当增加砂石的含水率,是减少砂、石在搅拌、上料和喷射过程中产生粉尘的有效方法。

②距工作面 10~15m 安设通风管加强通风;在喷射工作面的回风流中设置喷雾器进行水幕喷雾,以降低粉尘;

③适当增加拢料管长度,可使料、水混合均匀,减少粉尘喷出。拢料管长度以 40~60cm 为宜。

④严格控制工作压力。在满足工艺要求的条件下,工作风压不宜过大,水灰比要控制适当,避免干喷。

⑤如采用普通搅拌机时,应增加密封盖。上料尽可能采用皮带上料机。

⑥在施工布置上,根据设备、操作技术等条件,尽量采用远距离管道输料喷射。

88.壁面有涌水怎样喷射混凝土?

答:围岩表面有涌水,会造成喷射混凝土被冲、喷层附着力降低、甚至剥落,直接影响施工质量,以及作业效率降低。一般根据岩面出水情况,可采取的措施有:

①涌水量较少,仅为局部小面积的渗水,可以增加水泥用量和速凝剂掺量,变更配合比后喷射,干喷时,也有先喷干拌混凝土,待与涌水溶合后,再徐徐加水喷射。

②点状集中涌水,水量不大,可在出水点处钻一浅孔,插一个氯化乙烯管将水引离壁面,用孔口后,由下向上、有远到近逐渐向出水点喷射混凝土。

③岩体裂隙涌水,水量较大,可采用排水槽沿裂隙直接覆盖涌水处,并引至纵向排水管,用射钉、膨胀螺丝等固定,表面及边缘涂抹 2cm 厚水泥砂浆,再喷射混凝土覆盖之。

④局部大面积、大量涌水,在渗水壁面下部适当位置钻深孔,插入氯化乙烯管,将面流水集中,并引到排水沟,或在渗水壁面铺挂过滤性材料,再覆盖喷射混凝土。

第二节　锚杆、钢支撑作业

89.锚杆作业工艺不良有哪些影响?

答:锚杆施工工艺对锚杆支护效果的影响参见表6-2。

锚杆施工工艺对支护效果的影响　　表6-2

现　象	主要原因	影　响
眼孔不直	钻孔时,凿岩机下端位置移动	锚杆不易安装到孔底,注浆管不能插入孔底
钻孔过深或过浅,钻孔直径过大或过小	未按设计要求施工	降低机械式锚杆的锚固能力
眼孔内有泥浆	钻孔时放水不足	安装锚杆、注浆均困难
锚杆打击不进	眼孔不直、有台阶,先灌后锚时砂浆过稠,锚杆头部楔子捆扎不良	达不到设计锚固力
灌浆时注浆管外壁粘浆过多	灌浆时注浆管未同时抽出或所用砂浆过稀	减少了孔内砂浆,降低锚固能力
灌浆时砂浆下淌	砂浆过稀或孔口堵塞不良	孔内砂浆不饱满,降低锚固能力
打击锚杆时,孔内砂浆向外喷出	孔内空气未排出,砂浆未灌到孔底	降低锚固能力
先灌后锚时,插入锚杆前,砂浆硬化	掺入的氯化钙含量过多或砂浆拌和后使用时间较长	锚杆不易打入
承托板或垫板局部松动	未采用打击套筒打击承托板和横梁空隙未楔紧	降低锚固能力

90.对锚杆钻孔有什么要求?

答:①锚杆孔应与岩体主结构面成较大角度布置。当围岩主结构面不明显时,可与隧道周边轮廓垂直布置。

②当围岩稳定时,系统锚杆孔可按方形布设;当围岩较差时,宜用梅花形布置。

③锚杆孔位置误差不大于±10cm。钎头的尺寸,应根据锚杆

孔径要求决定，当钎头磨损后影响底部孔径尺寸达 2mm 时，则应更换钎头。

④钻孔后，孔内石粉必须用高压水冲洗干净。钻到设计深度时，若流出的岩粉浆呈黄色或褐色，或钎头冲击声异常时，说明遇到较软弱的岩石或破碎夹层，应变更锚杆的深度与位置。

91.对锚杆质量有什么要求？

答：①杆身必须调直无缺损。

②锚杆长度应大于孔深 6～10cm，每根加工长度误差不宜大于 1cm，并应除去杆上油污、铁锈、杂质。

③楔缝锚杆的楔缝必须垂直、平整，位置应在锚杆中心截面，缝宽误差不大于 0.5mm，缝长误差不大于 ±5mm。

92.选用锚杆类型依据什么？

答：锚杆选定时，要斟酌围岩条件和目的，选定出能快速施工、保证锚固质量、确保安全的锚杆。

按锚杆打设目的分，有圆周方向打设的承载锚杆、斜前方打设的超前支护锚杆和对开挖面防护打设的开挖面锚杆。根据锚杆打设目的和锚杆的特性，应考虑以下方面：

①承载锚杆数量大，锚杆的单价对工程的造价影响较大，锚杆的安装难易、安装质量等直接影响工程进度和工程质量。一般多优先采用标准的砂浆锚杆。对于局部加强的承载锚杆，视情况有采用预加力锚杆和预应力锚杆。

②超前支护锚杆主要为防止掌子面上方坍方、掉块，因而使其能够快速承载是很重要的。可用早强的药包锚杆或楔缝式锚杆。

③开挖面锚杆是临时锚杆，需要挖除的，可用塑料纤维锚杆和涨壳式锚杆。

由于围岩条件差，致使孔壁的自稳性不好、孔壁粗糙等造成锚杆安装困难、施工时间延长或有不能施工的可能。另外，围岩自稳性差要求尽早体现锚固效果，或因涌水导致锚固材料流出，或因形

成水膜而不能锚固等。对这种情况需考虑的内容则如下：

①孔壁粗糙和易塌孔而阻碍锚杆插入，使用自钻孔、中空注浆式锚杆可解决锚杆安装的困难。

②必须早期锚定的场合，可使用速凝型锚固材料的药包式锚杆、或机械式前端锚固型、周面摩擦型的锚杆，但作为永久锚杆还需孔内注水泥砂浆。

③因涌水而妨碍锚固的情况，使用机械式前端锚固型或摩阻型的锚杆，使用灌注式(包括自穿孔型)锚杆。

对于诸条件的各种锚杆的选择，最好是在设计或施工计划中预先决定好，要对各种形式的锚杆加以考虑，选定最合理的。拘泥于当初的设计或施工计划，使锚杆的施工时间延长，就会造成周边围岩不稳定状况延长，这对安全来说也是没有好处的。

93.锚杆施工的基本要点是什么?

答:①开工前，通过所规定的拉拔试验来确认锚杆的锚固力。施工期间用拉拔试验抽检已安装锚杆，如发现有锚固力不足的，必须对其周围的锚杆实施拉拔试验外，还必须检查是否是施工不良。

②作业前，必须进行浮石等的检查、清除、做打设位置标记，检查锚杆体的弯曲程度、有无锈蚀，冲洗锚杆注浆孔等。

③施工中，每个断面上要按所定的布设打设锚杆，要将钻孔内的石屑、积水清除；锚杆要充分紧固，以免通过垫板而松弛等；预防锚固材料的喷出、锚杆掉下、从作业脚手架滚落及材料的落下等灾害。

④施工后，必须要检查螺帽的松动情况和采取再紧固等措施。还必须努力做好脚手架的日常检查等安全管理。施工不良的锚杆，一般无法纠正，只能是重新施工，故必须加以注意。

⑤采用专用的测定锚杆来进行轴力测定，以确认锚杆的应力安全性和锚固效果。锚杆轴力测定要据围岩条件而定，在比较坚硬的岩质中，轴力测定就不太重要，但在担心松弛区域发达的山体中，轴力测定在对支撑是否适当和安全的确认这点上就很重要了。

94.对钢拱支撑施工有什么要求?

答:①对松弛发达的围岩或从掌子面前方发生超前松弛的围岩、要抑制早期壁面变形的围岩,开挖后须尽快采用强度和刚度都高的钢拱支撑,架设后能立即发挥支撑机能,并与喷射混凝土构成整体而起作用。

②选用的钢拱支撑,除考虑构件断面形状、尺寸外,还要根据接头机构类型来选择。当围岩显示出具有动态膨胀性,则选用U形钢、接头部配备可缩机构的钢拱支撑;像具有强大荷载增加的隧道,可采用H形钢拱、钢管拱;有些场合也有采用格栅钢拱的。

③钢拱支撑的标准施工,是按"所定的间隔和高度架设→接头安装→连接螺栓的紧固→纵向联系筋的焊接"的顺序进行。要求使其在喷射作业中不产生移动。

④钢拱支撑脚部应坐落在基岩上或用锁脚锚杆稳固,拱背与开挖面用钢楔间隔楔紧,再用喷混凝土填充支撑和围岩之间,避免留下空隙。

⑤当预测要发生强大的荷载而定量又不确切时,对支护的应力进行测定是非常必要的。钢拱支撑的应力测定,不仅可把握支护的稳定度,而且在掌握荷载状况方面也是有效的。最好根据围岩条件,预先作好观测计划。

第三节 衬砌作业

95.对衬砌模板有何要求?

答:①衬砌模板的构造,要适合施工条件。用于隧道衬砌的模板,可分为移动式模板和组装式模板。移动式模板,也称为衬砌台车,是被制作成集走行台架和拱架、钢模板为一体的可移动的通用性模板。组装式模板,有称为衬砌拱架,一种每次浇筑都需组装、解体拱架和钢模板的灵活性模板,主要用于移动式模板受到限制

的小半径曲线和扩宽部，或须及早浇筑衬砌的洞口部、围岩不稳定段。移动式模板，多为全隧道断面形状，用于全断面衬砌，采用移动性好而坚固的门架式结构，以利于运输车辆通过；组装式模板，要采用容易组装、拆卸、搬运等的结构，根据需要可设计成拱部形状、边墙形状或全隧道断面形状，以适应不同的开挖方法。

②衬砌模板的结构，要充分承受浇筑混凝土时的压力。模板结构要在浇筑混凝土过程中不发生偏位、应变、膨胀等，其强度高并能反复使用且具有耐久性。作用于模板的荷载，是每次的浇筑量、浇筑长度、灌注速度等得出的未硬化混凝土的质量，以及用压气输送方式灌注时增加的压力等。衬砌厚度特别薄时，要增强横撑或控制混凝土的灌注速度，防止因侧压变大出现跑模现象。曲墙式整体衬砌模板要有一定的质量，以抵抗混凝土最初灌注时所产生的上浮力。另外，移动式模板应能抵抗移动时可能发生的扭转等变形。

③确定移动式模板的长度，即一次灌注段的长度，要考虑工程进度、混凝土灌注能力、曲线段的曲率等。一次灌注段长度过长，混凝土容易因温度收缩和干燥收缩面开裂，一般适用的长度为 9～12m。使用组装式模板时，应注意钢、木模板的强度及拱架间距，使在灌注混凝土的压力下不致产生大挠曲。拱架间距通常为 1.2～1.5m。钢、木模板架设时最好每端至少有 3.5～5cm 搁放在拱架上。模板的材料，不要使用有明显损坏、变形、腐蚀等的材料。

④模板还要考虑容易进行清扫、浇筑、振捣、检查等作业。为供检测、振捣、清扫等作业使用，在模板上适当的位置要设置足够数量的作业窗，其布置应使混凝土能均匀地散布。采用压力输送灌注混凝土，灌注口的配置应考虑不致因空气停滞而在混凝土中残留空隙，最好设置有备用的灌注口，风管固定方式应使其阻力达到最小。特别是在衬砌厚度小的场合，由于作业进行困难，必须使作业窗的尺寸能使人钻过，并尽量多设一些。

⑤模板必须充分考虑升降设备、扶手等的结构，防止坠落危险。所使用的千斤顶之类机具必须构造坚固，不致因松弛而振动

和漏油。用点灭灯等显示净空断面，防止因重机、车辆等通过而造成的接触。

96. 用模板台车衬砌时有哪些事项需注意？

答：①安装模板时，应进行严格测量，以安装在正确位置上。如在安装之后再进行修正或调整，则非常费事，而且还会延误作业进度。

②所用轨道结构应使模板移动顺畅，灌注混凝土时不产生下沉。钢轨要选用能承受拱架模板质量及混凝土荷重的型号，并尽量采用长轨。铺轨时地基要充分整平，在承载力不够的地基上，必须采用缩小轨枕间距的措施。铺设台车轨道的要求如表 6-3。

铺设台车轨道的要求　　表 6-3

项　目	要　求	项　目	要　求
钢轨类型	≥24kg/m	轨道顶允许高差(小于)	±3cm
轨 距	390cm	同一横断面上左右轨的高差	<3cm
轨距允许误差	±3cm	轨道纵坡	与隧道纵坡一致
轨道中心与隧道中心允许偏移差	≤3cm	枕木规格(长×宽×高)	60×22×16cm
台车轨道顶标高(在隧道轨顶面下)	46cm	枕木间距	≤60cm

③在立模、拆模时，除应事先检查电机、油泵状况是否良好，电源连接是否正确外，其他电源(如振捣器、拉线照明电缆、搅拌输送机、提升卷扬机、皮带输送机等)都应拆除。在检查确定一切都已正常后，才能启动电机和油泵。

④拆模时要考虑到混凝土的质量，规定养生和脱模时间，一般要有 12～15h。模板大多要在已达到不因衬砌的自重而发生崩坍破坏的强度时拆卸。而达到该强度时，又因水泥的种类、混凝土的配合比、养生温度和隧道的断面形状、衬砌厚度等而不同，因此必须根据强度试验来予以确认。

⑤台车移动时，钢模必须完全脱离衬砌，要收拢到穿行要求位置，并关闭所有作业窗，要有专人掌握刹车器，防止台车溜放和冲撞。要确认轨道的高度、宽度，及模板内部和附近无作业员，还必须做到模板移动对风管、送水管、排水管、电线等无妨碍。

⑥模板就位时，必须确认地基的支承力充分，并预留一定的沉落量，目前采用2cm。还必须对模板进行全面的表面处理、涂油作业。立模就位调整时，模板后端应以已浇注的衬砌内轮廓线为准；前端以隧道开挖面的拱顶和基底中心点及两侧的隧道边墙基础顶面标高为准。

⑦利用作业窗采用插入式振捣器进行边墙和拱脚的混凝土振捣作业。拱顶利用混凝土搅拌输送器的喷射作用，使混凝土密实，同时用插入式振捣器振打模板内表面，或使用附着式振捣器进行拱顶混凝土的振捣。

⑧超挖回填一般是通过作业窗口用人工回填。在拱顶2～3m范围内超挖不大时，一并以混凝土灌筑；超挖较大时，也可用人工回填或用搅拌输送机喷送干砂或碎石回填。但遇到局部穹形超挖过大时，在不可能填实而留有一定空隙时，应俟衬砌完成后，以压浆方法加以处理。

⑨灌筑衬砌混凝土中，遇有大小避车洞时，应先将避车洞的模板全部安装完毕，然后进行模板台车的立模作业。大小避车洞的混凝土和边墙衬砌同时整体灌筑，质量较好。

97.模板移动安装常出现哪些问题？

答：①模板表面状态不良，混凝土粘附到模板上。主要原因有：隧道衬砌混凝土的养生期不长；模板内表面上涂剥离剂效果差；涂油之前未将模板内表面仔细清扫。

②移动式模板的组装螺栓，因振动等原因会松动，导致模板形状改变、架立不稳固。应随时检查，并进行再紧固。组装式模板，通常其螺栓孔与螺栓之间有一定的游间，因此应将螺栓充分拧紧。

③模板移动时，接触灌注好的混凝土表面，损伤混凝土表面或

碰坏模板，因此应使千斤顶之类机具充分缩回到规定的位置。

④安装的堵头板漏浆、损伤防水卷材。堵头板是在现场比照着凹凸不平的开挖表面或喷混凝土表面用木材加工而成的，安装应不损伤防水板、在混凝土压力作用下即使变形也不致漏浆，因此多在堵头板边缘处固定较厚的塑料泡沫板条。

⑤衬砌混凝土未达到必需的强度就拆模，特别是对最后灌注的拱顶的混凝土强度未能承受自重之前不准拆模。

98. 防止衬砌混凝土缺陷的对策？

答：①混凝土的灌注不产生离析，能填满各角隅，不留空隙，特别是拱顶。一般采用压气吹送的方法。从设在移动式模板拱顶的带有阀式管的送入口送入混凝土，按照填充顺序把松料管相继换到下一送入口，如此顺次移动下去。此法虽能良好地填充拱顶，对模板产生大的压力，作业中必须要有监视。仅从拱顶一处灌入时，混凝土要沿隧道轴向流动，很容易使材料离析，在模板适当位置设混凝土灌注口的解决办法很有必要。

②灌注要用适当的速度、左右对称浇筑，应使模板不受偏压，尽可能水平地、把一段的混凝土连续灌注完毕。捣固时，一般边墙部分用插入式振捣器，拱部用模板振动器，应将扩散到模板内各角落混凝土充分捣固。模板内的涌水，必要时应用软管等集水设施将水从模板内排出。模板底部的积水，应在灌注混凝土之前加以排除。

③衬砌混凝土的灌注，一般用混凝土泵或带搅拌机的灌注机进行。衬砌混凝土的施工配合比应以适合灌注机械的和易度决定最佳配合比。配合比随灌注机械和灌注方法而异，一般情况下，坍落度在 12～18cm 左右，衬砌混凝土一般使用普通硅酸盐水泥，为了减少单位用水量和改善和易性，可掺加粉灰、AE 剂、减水剂、流化剂等掺加剂。

④混凝土应使用不引起材料离析和不混入异物的方法运送。运送时原则上应使用混凝土搅拌运送车。混凝土从搅拌后到灌注

终了的时间应注意不超过下列数值：温暖干燥时不超过 1h，低温湿润时不超过 2h。在使用斜井、竖井等辅助坑道的隧道中，混凝土的运送使用溜槽、皮带运输机、混凝土吊桶等运送设备，应特别注意不使材料离析。

99. 仰拱混凝土作业有哪些要求？

答：①仰拱混凝土应在仰拱开挖后迅速灌注。灌注仰拱混凝土之前应清扫开挖表面或喷混凝土表面，充分排除仰拱底部存有的积水。

②仰拱多用小坍落度的混凝土，必须十分注意捣固。特别是仰拱曲率大时，应使用模板灌注混凝土，以便充分捣固。

③衬砌混凝土与仰拱混凝土的施工缝，应以能理想地传递仰拱轴力的适当方法施工，原则上应使接头面垂直于仰拱轴力方向。

④在围岩条件恶劣，希望及早全断面闭合时，应缩短仰拱混凝土每次灌注长度，与下半断面同时开挖仰拱，迅速灌注仰拱混凝土。在良好的围岩中全断面不急于闭合的情况下，也可以取不妨碍开挖面开挖作业的较长距离进行仰拱施工。

⑤为了防止仰拱混凝土收缩开裂，应隔适当距离设一伸缩缝。

⑥隧底围岩松软时，尽可能使用风镐开挖，必须爆破时，要严格控制装药量。仰拱不能欠挖，超挖在允许规定内用同强度等级混凝土灌筑；超挖较多时，先用浆砌片石回填后再做仰拱。

⑦灌筑仰拱混凝土时，应使用仰拱大样的样板，每间距 2m 设置一个，以检查和控制仰拱断面。灌筑时由仰拱中心向两侧扩展至拱座为止。

100. 隧道铺底作业的注意事项有哪些？

答：①为了圬工结合良好，一般先做水沟电缆槽，再铺隧底。

②铺底的顶面高程，应根据路面高程正确测定。

③隧底应保持正确的纵向和横向坡度，表面平整。

④隧底超挖过多时，先用浆砌片石回填后再进行铺筑。

第七章　防水排水

第一节　防排水施工

101.防水作业的要点是什么?

答:隧道复合式衬砌防水主要依靠夹在初期支护与二次模筑衬砌之间的防水层,影响防水效果的主要因素有:对初期支护表面处理,防水板铺挂焊接的质量,二次模筑时不损坏防水层。所以防水作业的要点为:

①喷混凝土表面极端凹凸处、暴露在喷混凝土外面很高的钢支撑和锚杆头部,灌注衬砌混凝土时将给卷材施加很大的拉力,导致防水卷材破损。因此,防水作业施工之前应使喷混凝土覆盖极端凹凸处、钢支撑处,并做成圆顺的曲面;切断外露的锚杆头,用砂浆或防护罩加以覆盖。

②防水卷材铺设应与喷混凝土表面密贴,在纵横方向都适当放松一点,等到灌注了混凝土,靠后者挤压就可以整个贴在喷混凝土表面,即便在拱顶也不存在空隙。所以,防水卷材的铺挂最好由下到上沿环向逐步固定。防水卷材的接缝应具有充分的止水性和结合强度。因此,防水卷材的接缝最好由熟练工人用热焊机精心地进行焊接。

③堵头模板的安装、灌注混凝土的冲击、插入式振捣器的接触等二次模筑作业都有可能损坏防水板,除选用较厚的防水卷材提高抗损坏能力外,在施工过程中将防水卷材接缝与衬砌施工缝错开或在施工缝处加铺一层防水板材,避免混凝土送料口直接对防

水板出料，谨慎操作插入式振捣器，不得顺防水层表面插入和振捣。

102.洞内水沟作业需注意哪些事项?

答:水沟一般采用矩形断面，位于两侧路缘附近，坡度应与线路纵坡一致，间隔设有沉淀井或检查井。施工时应注意:

①根据隧道横断面设计，开挖时应将侧沟空间与边墙基脚一次挖好，以免做好边墙后进行爆破，影响圬工质量和爆破效果。全断面开挖时，底部布眼应将水沟断面包括在内，后续不宜再开挖水沟。

②水沟应根据隧道中线桩放样，保证水沟沟壁外缘平顺，其高度位置应依据路线高程确定。

③边墙完成后，在铺底前先将水沟做好。水沟施工应按线路纵坡先将混凝土铺沟底，然后立模灌筑两侧沟壁混凝土。

④排水沟盖板应及时安设，以防水沟堵塞和便利工作人员行走。铺设盖板前须将两侧沟壁顶面修凿或抹砂浆整平，使加上盖板后平稳不晃动。

103.防冻水沟施工需注意什么?

答:月平均气温在 -10℃以下的寒冷地区和严寒地区如地下水发育，冬季又有水的隧道都应采用防冻水沟。

防冻水沟在隧道内设置的长度应按洞内气温能使水流冻结的范围而定，寒冷地区一般为自洞口以内 300~500m 地段;严寒地区大都要全洞设置。水沟采用埋深较大的中心圆形水沟和带保温层的矩形边沟。施工时需注意以下事项:

①防冻水沟深度超过边墙基础很多，开挖时如有地下水且围岩松软时，常会引起边墙圬工开裂或倾覆，因面水沟不能开挖过长，宜采用分段间隔施工较安全。

②洞内设置防冻水沟地段每隔 25~50m 须设汇水坑和检查坑，汇水坑和检查坑圬工宜整体灌筑混凝土。检查坑内可使用木

盖板，必要时可在盖板上加防冻材料，如锯木屑、炉碴等。

③埋设混凝土圆管上半面应有梅花形布置的孔眼。埋设后须夯填碎石并做反滤层，防止堵塞孔眼。管子两端的接头应用沥青麻筋填塞好，以免漏水。

④防冻水沟的出口，有条件时，应选设在陡峻的有利地形处，使水流急速排出，否则应用暗管埋入地底冻结线下至少0.25m，或在暗管外包裹保暖材料防冻。暗管内径根据水的流量和含泥量决定，但不小于40cm。

⑤中心水沟安装完成后，要防止后续的浇注仰拱混凝土、回填仰拱混凝土、铺筑路面混凝土有灰浆漏入管内堵塞管道，可在上述作业进行后、灰浆初凝前灌水冲洗中心水沟。

104.衬砌背后排水沟管施工需注意什么？

答：衬砌背后排水设施有沟管、排水板、排水网。沟管按布设形式可分为环形沟管、竖向沟管和汇集前后几处渗漏时设纵向沟管；按构造分有暗沟、暗管和盲沟等三种。排水沟管构成衬砌背后的排水系统，对降低衬砌水压荷载、防止地下水渗入隧道内、减轻软弱围岩岩性恶化起到非常大的作用。但施工质量难以保证，出现问题难以查明且无法补救。故施工时要特别注意。

①衬砌背后的排水沟管设置应做好施工记录，衬砌完成后应将背后的排水设施做出明显标志。钻孔和压浆时，都应避开排水设施位置，严防浆液流入沟管堵塞水流。

②衬砌背后的排水暗沟、暗管需有一定的刚度，不致因衬砌时被压扁；暗沟、暗管的连接须采用制式管件并粘接牢靠，整个暗管排水系统须固定在围岩或初期支护表面上，并包裹防水板、土工布或涂抹防水砂浆等，防止衬砌混凝土浆液流入。

③衬砌背后的排水盲沟应与衬砌同时进行，盲沟反滤层外回填更应密实，以防渗水漫流。

④严寒地区的衬砌背后排水设施要加设防冻保温层；如气温很低，还应将排水设施设在离衬砌背面较深位置，四周加厚保温

层，务使排水设施内的水流不受衬砌表面的低温影响而造成冻害。

⑤衬砌前要进行施工质量检查和排水试验，合格后方能进行下道工序。

第二节　施工排水

105. 隧道施工防水排水有什么基本要求？

答：隧道施工防水排水一般情况以排为主，特殊条件下以堵为主，采取截、堵、排相结合的综合措施。

①尽量采取能减少对地下水平衡破坏、对地表水污染、对农田山体坡脚毁坏的措施。如将水堵于主体工程以外；施工用水经处理符合要求后排入河道内。

②采取的措施首先有利于隧道施工顺利开展，并有利于隧道营运期间的结构稳定和交通安全。如截断水源尽可能减少洞内水量和堵水的困难；给水以出路沿着安排的途径疏干围岩含水、保障不损坏和降低工程质量。

③施工安排上尽量利用设计的排水系统，保障施工期间排水畅通。如寒冷及严寒地区施工先安排排水坑道施工，既可探明地质条件、又能排除施工水，且能减少防冻投入。

106. 洞口防排水需做哪些方面工作？

答：隧道施工前必须先做好洞顶、洞口和隧道周围地表的防排水工作，主要内容有：

①平整洞顶地表，排除积水。所有坑洼、陷穴、探坑、钻孔等，应用不透水土壤回填夯实；湿陷性陷穴和岩溶孔洞等特殊地质应按设计认真处理。

②整理对隧道有危害的流水沟渠，必要时以圬工铺砌，防止下渗，并使水流畅通、远离洞口；洞顶设有高压水池时，必须防渗漏、防溢；避免在洞顶安置生活区。

③洞口边、仰坡坡顶外天沟应确保截水引流，路堑纵坡向隧道内为下坡时应在洞口设置横向盲沟，路基边沟应挖成反坡排水。如为临时水沟须用防水砂浆抹面封闭。

④隧道洞口、辅助坑道口或井口的排水系统必须尽早完成并应妥善处理出水口，防止冲刷废碴危害农田和水利设施。

107. 隧道施工排水有哪些方式？

答：长隧道反坡地段不能自流排水，如涌水量较大并有长期补给来源时，应采取机械排水。隧道通过含水沙层，要设置滤层并采取降低其流速和流量的措施，以防止细小颗粒随排水流入坑道。隧道施工排水方式参见表 7-1。

隧道施工排水方式 表 7-1

部位	排水方式	施工方法	基本要求	附注
正洞	自然排水	利用隧道向上坡方向开挖的自然坡度挖沟排水	根据排水量及隧道纵坡决定水沟断面；水沟坡度与隧道坡度一致	不需要其他机具设备
	反向坡机械排水	当隧道向下坡方向开挖，需逐段开挖反向水沟和集水坑，并用水泵逐段抽水排出洞外	其反向水沟坡度不小于 2%；分段长度根据洞身及水沟坡度和深度确定；挖沟要紧跟工作面	需用水泵多台
	工作面机械排水	隧道向下坡方向开挖，在工作面用潜水泵和辅助小水泵排至集水坑，再由主泵经排水管一次（或分段）排至洞外	集水坑宜设在侧洞内，其容积一般为 2~4m³，其深度应保证蓬蓬头与窝壁和窝底不小于蓬蓬头外径和淹没在最低水面以下各不小于 0.5m	集水坑与泵站一起，不挖反向水沟，水泵用量少，但要大量排水管和大功率水泵

续上表

部位	排水方式	施工方法	基本要求	附注
辅助坑道	横洞自流排水	傍山、沿河或山体一侧较薄的隧道，设置横洞时，结合洞内排水引至横洞排出	横洞具有向外不小于3%的下坡	缩短正洞内排水长度，减少施工干扰
	平导综合排水	当有平行导坑时，正洞涌水结合洞内排水方式通过横通道引至平行导坑排出	平行导坑底比正洞低0.2～0.6m	涌水由平导排出，减少施工干扰
	斜井机械排水	当斜井掘进工作面涌水量较小时，可用潜水泵将水排入斗车或箕斗提升至地面；当涌水量较大时用水泵直接将工作面涌水排出井外	用机械排水，泵站设置和管路选择应通过设计确定。在井口必须修建排水沟和环形截水沟，并防止地面水流入斜井	
	竖井机械排水	井身用吊桶或吊泵排水。对井壁涌水可用截水槽截水或结合压浆堵水	为防止雨水、山洪流入井内，在井口周围须修建水沟和排水墙	

108.选择水泵及管道时如何计算?

答:机械排水使用的水泵和管路须经计算后选定，可按下列公式计算:

水泵的排水能力 $Q(m^3/h)$

$$Q=\frac{C}{m}q$$

水泵的扬程 $H(m)$

$$H=(L_1+L_2)\sin\alpha(1+K)$$

水泵的轴功率 N(kW)

$$N = \frac{QH\gamma}{3600 \times 102 \times \eta}$$

排水管直径 d(m)

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{3600\pi v}} = 1.88\sqrt{\frac{Q}{v}}$$

吸水管直径 D(m)

$$D = d + 0.025$$

吸水管最大长度 L_2(m)

$$L_2 = \frac{H_s + 0.5}{\sin\alpha}$$

上述式中：C——涌水不均匀系数，取 1.3～1.5；

m——水泵的时间利用系数，取 0.8～0.85；

q——涌水量(m^3/h)；

L_1——排水管长度(m)；

L_2——吸水管长度(m)；

α——排水管路的倾角(°)；

K——管路阻力换算扬程系数，见表 7-2；

γ——水的容重，1.0～1.1(t/m^3)；

η——水泵效率，0.65～0.85；

v——排水管内平均流速 1.5～2.2 (m/s)；

H_s——水泵允许吸上真空高度(m)。

管路阻力换算扬程系数 K　　表 7-2

实际扬程(m) / K(%) / 管路直径(mm)	10	10～30	30 以上
200 以下	30～50	20～40	10～20
250～300	20～40	15～30	5～15
350 以上	10～30	10～20	3～10

109.截排水坑道设置有什么要求?

答:①根据地层含水量大小和对隧道的危害程度等确定排水坑道位置,一般设在最低层或设在对隧道影响最大的含水层中。截排水坑道一般与隧道平行或近似平行,并设于地下水流向隧道的一侧,垂直于水流方向。

②严寒地区隧道的截排水坑道用作为永久泄水洞时,一般可设在隧底之下,其埋置深度不得小于地层的最大冻结深度。除必须衬砌外并应留足泄水孔;隧道衬砌背后的防排水设施应予连通。

③当隧道设有平行导坑时,可利用平导超前开挖探、截地下水,而不必专设排水坑道,但应视坑道地质情况,进行必要的衬砌。

④截排水坑道可在出口接明渠将水排走,或用通道和排水管与隧道水沟连通。如只设局部地段的截排水坑道,可将通道与开挖面附近水沟连通。

⑤严寒地区的截排水坑道出口处应保温防寒,防止冰塞和冰锥。一般可加大出口段坡度、加厚土层保温;将出口置于沟谷最高结冰面以上且不致含泥水流倒灌淤塞,并做保温圆包头式和端墙式。

⑥截排水坑道的纵向坡度,应不小于3%;其断面大小,应在满足施工要求和机具条件下,力求缩小净空,减少工程量。

110.如何进行超前钻孔探排水?

答:当隧道掘进面接近与河流、湖泊、蓄水池等相通的断层、裂隙发育的破碎岩层时,接近溶洞、含水断层或地下水丰富的流砂层、冲积层、破碎岩层等含水层时,必须超前钻孔探排水掘进。其作业要点有:

①根据水文地质和地质构造情况判定地下水流方向,确定钻孔位置、方向、数目和每次钻进深度。

②加强钻孔附近的坑道支护,清理坑道,准备好排水设施。

③根掘估计水量、水压,对探水眼孔口进行加固,设套管安装

水阀，以控制放水眼流量和预先释放掘进前方的高承压水。根据隧道排水能力，控制放水眼的流量。

④为防止高承压水突然涌出，钻孔必须在高压滞水层前，预留15～20m的不透水层作为防护；宜经常保持15～20m的超前距离，以保证施工安全。

⑤当钻孔时发现岩层变松或粘土量增多，或沿钻杆向外流水超过正常凿岩供水量或出现空气变冷、发生雾气、有水声、顶板淋水、底板流水加大等其他涌水征兆，应即停钻并不得抽动钻杆，一面监视水情，一面撤离人员再行治理。

111. 怎样进行井点降水？

答：井点降水适用于渗透系数为0.1～80m/d的砾砂、粗、中、细砂等地层，但要求事先确知地下水的流动方向和不透水地层的位置、厚度等，以保证正确布置井点。降水的深度主要受设备限制，一般一层井点系统能降低水位3～6m。

井点系统的构成是将一系列井点管埋设于开挖底面以下的地层中，并将这些井点都连接到抽水总管，用真空泵和水泵将地下水抽出，以降低地下水位。井点管由滤管及井管连接组成，其中：滤管为长1m左右、直径50mm的无缝钢管，管壁钻有直径19mm的花孔，管外缠绕间距2cm铁丝圈，再包二层金属滤网。管底端做成尖形，封死；井管一般用直径25mm无缝钢管制做，其长度视施工现场的具体条件确定，导坑内施工受空间限制，可采用1m左右短管分节打入接长。

井点管安装在钻孔内，孔壁与井管之间应及时用粗砂填实，孔口下至少0.5m深度内应用粘土填塞严密，防止漏气。井点间距，一般为0.8～1.6m；钻孔深度，须比滤管底深0.5m左右；滤管顶端应低于底面以下1.0～1.2m；每组井点的埋设深度必须保持一致；井点管方向可竖直亦可向前或向两侧倾斜50°～55°。

如注入管内的水很快下渗，或向井管与孔壁间填砂管内水面上升，则埋管合格。然后装上弯联管并和总管连接；抽水总管与泵

的位置安装应尽量降低且沿抽水水流方向应有0.25%～0.5%的上仰坡度。井管系统各部件均应安装严密，防止漏气；如排水管有倒流水可能时，在排水管与水泵接连处须装逆止阀。气水分离箱与总管连接的管口宜高于抽水泵的叶轮轴线。

整个井点系统安装完毕，做总管真空试验。将所有的弯联管阀门和总管闸阀关闭，从接近泵站一端开始依次打开总管的阀门，读取真空度仪表的读数。总管合格之后，开启各井点的阀门，检查其真空度，对不合格的应立即加以检修。

真空试验合格后，即可正式运转。先开动真空泵，随即开动抽水泵，抽水管的阀门应根据水流多少确定开启大小，不可始时就将其开大。开始抽出的水可能夹带一部分细砂，正常情况下，过一段时间即可消失。但若滤网孔眼过大，砂粒会不断抽出。或者排水管上的阀门开启过大，泵将系统内的水全部抽完，真空泵又将系统外的水强吸进来，也将带进部分泥砂。这表示泵的抽水量过大，超过地下水流供应量，调整的方法是将排水管阀门关小。

若泵站经过数天抽水后，排水管的水仍然满流，则证明泵站的抽水量太小，可开动备用泵，以使水位迅速降低。井点系统在工作时，真空计所指示的真空度应和设计的相符，或比设计的略高，才能达到预计降低水位的目的。当发现真空度不够，抽出水量很少时，可先将泵站与总管之间的闸阀关闭，则真空计读数应上升到600～650mm，如仍停留在低读数不动，则可断定真空度不足的原因与泵站有关。泵站检查完毕后，打开闸阀，再检查抽吸系统。抽吸系统漏气部位主要在各接头处和滤管处。抽水过程中应经常检查管路有无漏气及"死井"，如有"死井"，可用水冲进疏通或重新埋设。

112. 怎样进行深井抽水？

答：当浅埋隧道或竖井穿过潜水、承压水层时，在隧道两侧或竖井的四周从地表钻凿深井，依靠水泵抽水降低水位。但地下水渗流入井的速度有一定限度，要达到预定的降低水位效果需要一

定的时间。一般使用条件是：含水层厚度小于 15m，但其中粘土夹层不超过两层，否则每一层上都会留下未滤干带；岩层渗透系数 10～100m/d 较为合理；颗粒小于 0.05mm 的含量不得超过 3%（按体积计），否则在抽水时，可能在井孔附近形成空洞。

深井钻孔直径宜大于井管直径 5～10cm，钻孔深度应达到隧底以下 5m 左右，并应根据抽水期内沉淀物沉积的高度加深；深井间距，一般约为 25～30m。钻井套管安置可逐节或整根沉放，其安置深度视土质而定。井管为穿孔的钢管，孔有网状和缝状两种。网状适用于渗透系数较小的岩层，缝状适用于渗透系数较大的岩层。井管滤网位置应放置在含水层的适当范围内，井管内径一般宜大于水泵外径 5cm。井管与孔壁之间填充粒径须大于滤网孔过滤材料。水泵安装前应清洗滤井，冲除沉碴。使用前检查各管段、轴件的连接必须紧密牢固，不得漏水。对地下水位下降情况和流量应进行观测并做好记录。

113. 怎样进行斜井排水？

答：根据斜井长及倾角不同而采用单段排水和分段排水，单段排水适用于斜井倾角小于 20°，斜井长不大于 200m，即在工作而用一台卧泵直接排放至地面，一般在斜井掘进初期，井身掘进不深时采用，随斜井长度加深再改为分段排水。分段排水是在工作面采用风动潜水泵将水排到移动泵站特制的水箱，再转固定泵站排至地面。如工作面直接用卧泵排水，应将卧泵安放成水平状态，为适应不同倾角斜井的情况，采用专用活接水泵台车，其前端的撑架为一螺杆千斤顶，后面平台与车架用铰链联接，可以随斜井倾角不同，升降千斤顶，使水泵保持水平状态。

工作而的卧泵随工作面的推进向前移动，其距工作面最远距离 L 按下式计算：

$$L = \frac{H_c + 0.4}{\sin\alpha}$$

式中：H_c——水泵吸水最大垂直高度（m），一般 5～6m；

0.4——吸水龙头上面的水层高度(m);

α——斜井倾角(°)。

114.怎样进行竖井排水?

答:竖井涌水量不超过 $6m^3/h$ 时,适用吊桶排水;当竖井涌水量较大,但井深较浅时可用吊泵直接排至地面;随井深增加,竖井内需建立腰泵房,工作面附近的吊泵排水到腰泵房的水仓内,再由卧泵排出地面;若井深超过 600m 时,可采用上、下两个腰泵房三段排水。用下列公式和参数经计算后,选用吊桶、吊泵。

①吊桶排水能力

$$W=\frac{nVKk_1}{k_2}$$

式中:W——吊桶排水能力(m^3/h);

n——吊桶每小时提升次数;

V——吊桶容积(m^3);

K——石碴空隙率,硬岩为 0.5~0.6,中砾岩为 0.4~0.5,软岩为 0.3~0.4;

k_1——吊桶装载系数,取 0.9;

k_2——提升不均匀系数,1.2~1.5。

②吊泵排水能力

$$Q_1=\frac{cq(t_1+t_2+t_3)-slr\eta K_1K}{t_3}$$

式中:Q_1——吊泵排水能力(m^3/h);

c——涌水不均匀系数,1.3~1.5;

q——井身涌水量(m^3/h);

t_1——提升吊泵和爆破时间,0.25~0.5h;

t_2——通风和下放吊泵时间,0.5~0.75h;

t_3——排除工作面积水时间,0.5h;

s——井身断面(m^2);

l——炮眼深度(m);

η——炮眼利用率(%)；

K_1——岩石松散系数；

K_2——石碴空隙率。

③80DL12 型吊泵规格，见表 7-3。

80DL12 型吊泵性能 表 7-3

型号	流量		扬程	转速	功率(kW)		效率	允许吸上真空高度
	(m^3/h)	(L/s)	(m)	(r/min)	轴功率	电机功率	(%)	(m)
80DL12×3	34.6	9.62	34.2	2950	4.3	5.5	75	6.7
80DL12×4	34.6	9.62	45.6	2950	5.74	7.5	75	6.7
80DL12×5	34.6	9.62	57.0	2950	7.17	10	75	6.7
80DL12×6	34.6	9.62	68.4	2950	8.6	13	75	6.7
80DL12×7	34.6	9.62	79.8	2950	10	13	75	6.7
80DL12×8	34.6	9.62	91.2	2950	11.5	17	75	6.7
80DL12×9	34.6	9.62	102.6	2950	12.9	17	75	6.7

注：型号意义，如 80DL12×8：80-吸入口直径为 80mm，D-单吸多级分段式；L-立式；12-单级扬程为 12m；8-级数为 8 级。

115. 竖井注浆堵水有哪些方式？

答：把浆液压注到岩层裂隙，将破碎的透水岩层胶结成稳定的不透水整体岩层，将水封阻于竖井外围，是保证竖井正常施工的有效措施之一，能最大限度降低竖井内涌水、减少机械排水量。竖井施工的注浆堵水，针对地层条件和涌水现象可采用下列不同方式。

①地面预注浆。适用于竖井穿过的含水层埋藏较浅，岩层厚度大；或每层厚度不大，但与不透水岩层互层，预计竖井涌水量超过 50m^3/h 以上。在竖井施工之前，围绕竖井周边，距开挖壁面 3～4m，由地表钻孔透过含水层，将岩石裂隙灌注水泥浆或水泥—水玻璃浆液，形成圆形隔水墙。

②工作面顶注浆。是在掘进工作面距含水层 5～10m 时，便停止掘进工作进行衬砌，并在工作面筑止水垫，然后由工作面周边外插打钻孔，对下部即将穿过的含水层作注浆封水处理。这种方法用于处理局部含水层，或含水层赋存很深时。

③壁后压浆。主要用于竖井衬砌后井壁仍有渗水、漏水。壁后注浆后可堵绝水眼、封住淋水，还可作为加固井壁的有效措施。注浆孔的深度，对岩层裂隙注浆时，注浆孔必须穿透井壁，孔深应等于或大于一倍半的井壁厚度。

116. 怎样处理施工期间井帮淋水及涌水？

答：①截。在漏水井壁下方设截水槽，将淋水截住，用胶皮管将水引入水桶，由水泵排出地面，当竖井内设有中间转水站时，便可将水引入水仓，然后排出。

②导。当井壁施工通过含水层时，采用埋设导管的办法，将水集中导出，保证混凝土井壁的质量。导水管数量以能满足放水的要求为原则。导管一端应埋入砾石堆，以利滤水和防止涌水带走壁后泥砂，另一端伸出井壁，以便利用注浆封水之用，伸出长度应不超过 50mm，以免影响吊盘起落。

③挡。当水量较大时，可在衬砌厚度范围外设置临时挡板挡水，并迫使其全部通过导水管引走，以保证该段混凝土作业顺利进行。

第三节　注浆堵水

117. 开挖前注浆堵水有什么方法？

答：①地表预注浆。在隧道两侧地表钻孔注浆，以形成隔水帷幕。一般适用于覆盖层较薄的地段，帷幕预注浆的钻孔，一般离隧道中线 7～10m 两侧交错排列梅花形布置或根据涌水方向决定；钻孔间距由浆液扩散半径确定；孔深要超过隧底约 2m，碰到岩溶几率较小最好改布斜钻孔，以增加揭露裂隙几率。主要优点有：工

作条件好，全部作业在地面进行，可以采用大型注浆设备以及多台钻机同时作业，并能提前预压不受洞内掘进限制。

②洞内工作面预注浆。在工作面水平钻孔压浆，以形成隧道周围隔水圈。适用于深埋隧道采用地表垂直钻孔工作量过大，且钻孔不易钻到突水层，或含水层较薄且多，层距较远。可根据水文地质资料或超前坑道与钻孔的探测确定注浆长度与掘进长度。掘进长度为注浆长度的 70%～80%，每段预留 30%～20%作为下段注浆的止浆盘。采用注浆泵能力来确定孔段长度，则要求注浆泵的单位时间的排浆量应大于或等于孔段长度单位时间的吸浆量。一般洞内钻压工作面小，干扰大，条件差。

③地表与洞内综合预注浆。当采用单一的地表或洞内预注浆都不能达到堵水作用时，或注浆的效果难以精确判断时，以两者综合预注浆较好。如地表预注浆比洞内预注浆超前一环进行，可以加快施工进度，可加固地层、堵塞大的突水通道，提高洞内预注浆效果。当岩溶地层溶裂无规律，地表钻孔往往不易钻到溶裂地层，必须结合洞内预注浆提高注浆质量。当地表预注浆能控制和堵塞溶裂，且钻 20°～30°斜孔，能见到溶裂层时，宜优先使用地表预注浆，反之，洞内预注浆止水效果优于地表，应优先或结合使用洞内预注浆。

④超前小导管注浆。是在开挖掘进前，沿坑道周边打入带孔的小导管，由上而下地向小导管内注浆，使浆液渗透到地层中，在坑道周围形或堵水帷幕并加固围岩。小导管一般采用 ϕ40mm 的无缝钢管制作，钻孔直径应较管径大 20mm 以上，间距一般为 30～40cm，外插角控制在 15°左右。注浆时严格控制孔口压力不得超过允许限值，当每根导管内已达到规定的注入量时，就可结束。若孔口压力已达规定值，但注入量尚不足时，亦应停止注浆。注浆结束后，必须钻检查孔，或用声波探测仪检查注浆效果，如未达到要求，应进行补孔注浆。

118. 注浆故障有什么处理方法？

答：注浆过程中，有时注浆压力和吸浆量会出现异常变化，有

些是属于注浆中的正常现象，如由于局部裂隙暂时堵塞，会出现假压，随着在高压下充塞物被冲开，压力又复下降；有些则是由各种原因引起的故障，需采取一定措施处理。常见的异常现象及原因和处理方法可参阅表 7-4。

注浆异常现象及原因和处理方法　　表 7-4

异常现象	表现形式及原因	处理方法
泵压突然自动下降，并长时间不回升，或泵压虽未明显下降，但注浆量突然增大	作业面跑浆，主要原因就是止浆岩盘压浆充填不密实，或孔浆封堵不严等	用麻棉丝或锯末加速凝胶泥进行外部封堵，并作间歇压浆，间歇时间不能超过浆液的凝胶时间，如若跑浆很严重，还可用改变 C/S 配比，缩短凝胶时间来加以控制，如采用上述办法都不能见效时，应重新补孔，加喷混凝土，再进行补压
	串浆	及时关闭串浆孔的孔口阀门。注浆孔的注浆量在可能的情况下，应加倍压入
泵压突增，而压浆孔口压力升压很慢或不升压，吸浆能力降低或停止	长时间不上压	首先查明有无浆液流失，两泵的吸浆是否正常。根据地质资料和钻孔记录，判断前方是否有断层、空洞、大裂隙等，视情况采取措施： 如有浆液流失，及时采取封堵、调浓浆液、缩短凝胶时间、间歇注浆等方法；如是泵的吸浆不正常，则采取措施加以排除，但另一台泵则不能停止，应继续注浆；如果有断层、空洞或大裂隙，则应调浓浆液、缩短凝胶时间、加大排量压注
	上压很快，不吸浆	可能管路的阀门没有开启，或地层流出的泥砂堵死了注浆管，只需打开阀门，或者把注浆管掏空，即可进行正常注浆
	输浆管路堵塞	单液压注或压注清水，待泵压正常再继续正规注浆，如混合胶管被堵塞，用泵吸清水加大压力和排量冲压，并振打混合管，即可排除，在注浆过程中，如有一台泵不吸浆，一般是吸浆口被堵或进排浆门有大颗粒物质堵塞，此时应立即停泵拆洗清除。但另一台泵不能停，应继续压注

续上表

异常现象	表现形式及原因	处理方法
泵压及注浆孔口压力突然上升，吸浆能力降低或停止	混合器或注浆管堵塞	单液压注或压注清水，待泵压正常再正规继续注浆
泵压骤降，吸浆量迅速减小或不吸浆	泵的吸水笼头或吸浆口球阀(低压阀)被堵	停泵清洗

119.检查注浆质量有什么方法?

答:①采用径向钻孔，检查注浆范围的钻进情况与岩芯成分和注浆体、溶洞泥固结体的抗压强度等，以此来评价溶裂与流塑泥的注浆质量。

②开挖观察检查注浆液在地层的扩散距离、扩散方向，在地层的充填胶结情况以及开挖面的漏水量等。还可以从注浆段掘进情况直接检查注浆质量。

③根据注浆记录(如压力、注浆量等)来判断注浆效果。

④根据注浆前后地层声波速度的大小对比来判断浆液充填的密实程度。采用各种测试手段测定工作面注浆后的涌水量。涌水量小于规定值，则质量合乎要求。

120.洞内预注浆作业有哪些需注意事项?

答:①注浆布孔应根据涌水方向及地质情况进行调整，宜长短结合并呈伞形辐射状。一般在水流方向及岩层倾斜上方，钻孔可距隧道远些，孔适当密些，其他方向应距隧道近些，孔距大些。裂隙愈密小，孔数应增多；反之，可减少。钻孔倾斜角度随注浆段长度面异，在孔的终端断面，注浆孔距开挖轮廓距离一般为隧道开挖高度的0.5~1.0倍。对已探明溶裂突水孔应布孔，及时注浆堵水；对充填稀粘土的溶洞地层，采取邻孔钻注，使本孔排稀泥。布孔先稀后密，先外后内，根据具体情况再增加钻孔，先钻一般溶裂

地层的孔，然后再集中于大的溶裂与溶洞层。

②钻注浆孔要按设计要求准确定孔位，开孔时要轻加压、慢速、大水量，防止把孔开斜，钻错方向。为防止串浆，钻进顺序应按上、中、下、左、右孔错开，长短孔错开。孔径宜尽可能大些，大孔径揭露岩石裂隙的几率也越多，对注浆越有利。钻孔中如遇破碎带，可停止钻进，先行压浆，再继续钻进。钻凿深孔应防止压弯钻具甩打孔壁，造成塌孔或断杆事故。详细记录：钻进进尺、起止深度、钻具尺寸、变径位置、岩石名称、裂隙发育程度及分布位置、出水量、出水位置、处理事故和时间、终孔深度等。

③根据钻孔涌水情况、裂缝发育程度和注浆设备能力等确定注浆方式。分段上行式注浆：注浆孔一次钻到设计全深，使用止浆塞由孔底分段向外注浆。其优点是无需重复钻孔，能加快注浆进度；但须使用性能良好、工作可靠的止浆塞；一般在岩层较稳定和裂隙、节理不甚发育的条件下采用。分段下行式注浆：注浆孔钻进一段压一段，由外向里反复交替，直至全深。其优点是上段注浆后，下段注浆时获得复压，堵水效果较好。但交替进行，加大了钻孔工作量，影响注浆进度。一般在岩层破碎或裂隙极发育的条件下采用。全段一次注浆：注浆孔一次钻至设计全深，一次完成注浆。其优点是工艺简单，由于减少装拔止浆塞的工作，因而可缩短注浆施工时间。其缺点是由于一次注浆孔段增长，难于保证质量，因而要求严格掌握注浆技术；岩层吸浆量大时，要求使用功率大的注浆设备；易出现不均匀扩散，影响堵水效果。一般在注浆孔不太深，且岩层裂隙较均匀的条件下采用。

④钻孔完毕，应进行掏孔检查。在确认没有坍孔和探头石的情况下，方可下管。如有坍孔或探头石，必须用钻机进行扫孔。根据确定的注浆方式确定止浆塞位置。用沾有 CS 胶泥的麻丝绳绕成不小于钻孔直径的纺锤形柱塞，把管子插入孔内，再用台车把管顶入孔内要求的深度，使麻丝柱塞与孔壁充分挤压紧实，然后在麻丝与孔口空余部分，填充 CS 塑胶泥，使注浆管和止浆塞固定。顶进注浆管时，必须将钻头换成冲套，注浆管须带护丝箍，以保护管

口外丝扣。

⑤通过压水试验测定岩层的吸水性，核实岩层的渗透性，为注浆时选取泵量、泵压及浆液配方等提供参考依据，同时冲洗钻孔，检查止浆塞效果和注浆管路是否有跑、漏水现象。并通过压水将裂隙中松软的泥质充填物推送到注浆范围以外，使浆液进入裂隙后增加充塞的密实性和胶结强度。压水压力应由小逐渐增大到预定注浆压力，并持续几分钟。

⑥止浆盘的作用是防止未注浆地段地下水涌向作业面及防止下段注浆时跑浆。根据注浆终压和岩层的情况，可在预留的岩盘，加喷 15～25mm 厚 C20 混凝土加固岩壁。喷混凝土的范围是整个开挖面 3m 地段，特别是在注浆孔周围 3m 范围以内及钢拱和有管棚出露处附近，必须反复加喷，保证喷射厚度。喷混凝土时注浆管应带上防护套帽，以保护注浆管丝扣和避免喷混凝土堵塞注浆管。

⑦注浆顺序一般为先内圈孔后外圈孔、先无水孔后有水孔。根据降水漏斗的原理，一般是从拱顶顺序向下压注，如遇串浆或跑浆，则间隔一孔或几孔灌压。注浆压力的控制应使泵压达到预定值时，会自动停泵，不致于发生超压。并对注浆泵的排量用调节控制按钮和排量记录仪加以监控。为防止由于压注速度过大，造成上压过快返浆、漏浆等异常现象，影响注浆质量，在注浆前先测定注浆孔的吸水率，以确定合适的压入速度。浆液配比的控制原则一般是先稀后浓，逐级变换。

121. 如何确定注浆参数？

答：①注浆扩散半径。在孔隙性岩层比较规则、均匀，在岩层裂隙中是不规则的。浆液的扩散半径随岩层渗透系数、压浆压力、压入时间的增加而增大，随浆液浓度和粘度的增加而减少。施工中对压浆压力、浆液浓度、压入量等参数可以人为控制与调整。对控制扩散范围可以起到一定作用。以水玻璃为主剂的浆液，其实际有效扩散半径见表 7-5。水泥浆液在裂隙岩石中的有效扩散半径见表 7-6。

以水玻璃为主剂有效扩散半径　　表 7-5

岩层类别	实际有效扩散半径(m)	岩层类别	实际有效扩散半径(m)
砂砾	1.75～2.00	细砂	0.50～0.70
粗砂	1.20～1.45	淤泥	0.50
中砂	0.80～1.00	粘土	0.50

水泥浆液在裂隙岩石中的扩散半径　　表 7-6

裂隙宽度(mm)	有效扩散半径(m)	裂隙宽度(mm)	有效扩散半径(m)
<5	2	>30	6
5～30	4		

②注浆压力。一般压力越高，浆液充填饱满，结石体强度高、不透水性好，并能增大扩散半径以减少注浆孔数。但压力过高，会使裂缝扩大，浆液流失过远以及工作面冒浆等。注浆终压通常根据经验确定，一般比水压高 0.2～0.4MPa。

如量测水压有困难或不要求准确的终压值，亦可参考下列压浆压力经验公式：

地表注浆　　$P=(0.2\sim0.5)H_1$

洞内注浆　　$P=(0.2\sim0.5)H_1K$

式中：H_1——孔位至静水位高度(m)；

K——洞内修正系数，1.2～2.0；

P——注浆压力(MPa)。

③浆液浓度。浆液浓度的选择根据岩层的吸水率来确定。吸水率越大，岩层透水层越强，则浆液宜浓。吸水率为单位时间内每米钻孔在每米水压作用下的吸水量，可通过压水试验按下式计算。

$$q=\frac{Q}{Hh}$$

式中：q——钻孔吸水率(L/min·m·m)；

Q——单位时间内钻孔在恒压下的吸水量(L/min)；

H——试验时所使用的压力(10kPa)；

h——试验钻孔长度(m)。

根据上式算出单位吸水率,由表 7-7 选择水泥浆液浓度。

水泥浆液浓度选择表 表 7-7

钻孔吸水率 (L/min·m·m)	浆液起始浓度 (水灰比)	钻孔吸水率 (L/min·m·m)	浆液起始浓度 (水灰比)
0.01~0.1	8:1	3.0~5.0	1:1
0.1~0.5	6:1	5.0~10.0	0.5:1(加掺合料)
0.5~1.0	4:1	>10	0.5:1(加掺合料)
1.0~3.0	2:1		

常用的水泥浆液浓度为 1.5:1~0.5:1。用某浓度级水泥浆液压浆过程中,吸浆率约为吸水率的 80%~85%时,可以认为浓度适宜;压浆压力保持不变,吸浆量随压浆时间延长逐渐减少时,或当吸浆量不变而压力却逐渐升高时,均属浓度适中,不需改变浆液浓度;如果连续压入 20~30min 后,压浆压力和吸浆量均无改变或改变不大,即可换用较浓一级的浆液。遇有冒浆或岩层破碎带、大裂隙、岩溶发育地层时,应越级加浓,或采用间歇压浆、水泥—水玻璃双液压浆等措施。在岩溶发育的石灰石岩层压浆,可利用表 7-8 所列数据进行选择。

浆液浓度选择表 表 7-8

钻孔吸水率(L/min·m·m)	<0.1	0.1~0.5	0.5~1.0	>1.0
浆液起始浓度(水灰比)	>4:1	4:1~2:1	2:1~1:1	<1:1

④浆液注入量。为获得良好的堵水效果,必须注入足够的浆液量,确保一定的有效扩散范围。但浆液注入量过大,扩散范围太远,浪费浆液材料。可根据扩散半径及岩层裂隙率进行粗略估算,作为施工参考。

$$Q = \pi r^2 H \eta \beta$$

式中:Q——浆液注入量(m^3);

r——浆液扩散半径(m);

H——压浆段长度(m)；

η——岩层裂隙率，一般取1%～5%；

β——浆液在裂隙内的有效充填系数，约0.3～0.9，视岩层性质而定。

对于大的溶裂、大的溶洞，裂隙率＞5%时，浆液注入量难以计算，因此，在这种情况下，宜用注浆压力控制注浆量，注浆量只能按注浆终压规定值时的注浆总量来决定。

⑤注浆结束标准。一般以两个指标表示，即最终吸浆量和达到终压后的持续时间。一般结束标准是：注浆压力达到设计终压；吸浆量、双液(水泥—水玻璃浆液)为50～100L/min，单液(水泥浆)为20～60L/min，稳定约20min即可结束。在正常的情况下，一般采用定压注浆，当注浆压力达到或接近设计终压时结束注浆，而当压力接近终压或达到终压的80%时，如出现较大的跑浆，经间歇注浆后达到或接近终压也可结束注浆。整治涌水突泥，其终压值根据客观条件的变化，可选择合理的上限值和下限值与导坑突水量作为终止标准。

122.依据什么选择注浆材料？

答：①浆液在一定的压力下，能渗到一定宽度的裂隙或空洞中去，即具有良好的渗入性。水泥类浆液可以压入颗粒不小于0.6mm的粗砂；水玻璃类可压入0.10mm的粉砂；木质素类可压入颗粒不小于0.03mm的泥土；丙稀酰胺类粘度近似水，可压入0.013mm的泥土。

②浆液凝结成结石后，应具有一定强度和粘结力。一般情况下应尽可能采用固体颗粒材料(水泥浆液、水泥水玻璃浆液)。只有在固粒材料浆不能达到压浆处理的要求，如岩层裂隙细微、压不进去或涌水大、流速大时，才考虑采用化学浆液。

③根据地层条件选择压浆材料。断层破碎带和砂卵石地层，当裂隙宽度(或粒径)大于1mm，或渗透系数$K \geqslant 5 \times 10^{-4}$m/s时，宜优先选用单液水泥浆和水泥—水玻璃浆；中、细、粉砂层及细小

裂隙岩层，断层泥段宜选用渗透性好、低毒、遇水膨胀的化学浆液，如聚氨酯类。对于颗粒更小的粘土层，采用水泥浆、水泥—水玻璃类，可在水泥浆中加入膨润土、粉煤灰等填料，将使浆液具有触变性能，并能防止材料的分离和水泥颗粒的沉淀。

④选择浆液时，除注重浆液的性能和岩层的渗透性外，还要考虑注浆压力、泵量和压注方式等与注浆工艺有关的因素。选用一种或几种最合适的注浆材料和配方，配合使用以充分发挥各种材料的特点，达到合理的技术经济指标。

123. 常用注浆液有何特点？

答：常用的注浆浆液有：水泥浆液、水泥—水玻璃浆液以及各种化学浆液，如铬木素、尿醛树脂、丙烯酰胺、木胺和聚氨酯浆液等。常用浆液的基本性能、主要成分及适用范围见表 7-9。

常用浆液的基本性能、主要成分及适用范围 表 7-9

浆液名称	单液水泥浆	水泥水玻璃	水玻璃类	铬木素类	丙烯酰胺	PM 型浆液
粘度	15 ~ 140(s)	15 ~ 140(s)	3 ~ 4(cp)	3 ~ 4(cp)	1.2(cp)	> 10 ~ < 900(cp)
注入最小粒径 (mm)	1	1	0.1	0.03	0.01	0.03
渗透系数 (cm/s)	$10^{-1} \sim 10^{-3}$	$10^{-2} \sim 10^{-4}$	10^{-2}	$10^{-3} \sim 10^{-5}$	$10^{-5} \sim 10^{-6}$	$10^{-4} \sim 10^{-5}$
凝胶时间 (min)	360 ~ 900	0.2 ~ 60	0 ~ 60	0.2 ~ 60	0.2 ~ 60	0.2 ~ 60
抗压强度 (MPa)	10 ~ 25	5 ~ 20	3	0.4 ~ 2	0.4 ~ 0.6	6 ~ 10
注入方式	单液	双液	双液	单或双液	双液	单液
扩散半径 (mm)	200 ~ 300	200 ~ 300	300 ~ 400	300 ~ 400	500 ~ 600	400 ~ 500

续上表

浆液名称	单液水泥浆	水泥水玻璃	水玻璃类	铬木素类	丙烯酰胺	PM型浆液
适用范围	基岩裂隙注浆	基岩裂隙注浆	冲积层注浆	冲积层注浆	冲积层注浆	冲积层或裂隙注浆
主要成分	水泥、其他附加剂	水泥、水玻璃	水玻璃、其他附加剂	亚硫酸盐纸浆废液、重铬酸钠、过硫酸铵、其他	丙稀酰胺、过硫酸铵、NN'-亚甲基双丙烯酰胺、β-二甲氨基丙腈	甲苯二异氰酸脂、聚醚树脂、溶剂催化剂、表面活性剂等
材料来源	易	易	易	较易	难	难

水泥浆液具有结石体强度高、工艺简单、浆液配制容易、材料来源丰富、成本较低等优点。但水泥颗粒较粗、易沉降析水、稳定性差、浆液凝结时间较长、易被水冲失、早期强度较低，结石率低。一般常用水泥浆液的水灰比为4:1～0.5:1。稀浆粘度低，易于压注，但强度亦低、凝结时间长、稳定性和结石率都不好；浓浆则相反。因此，在满足注浆工艺和岩层压注性需要的条件下，应尽量使用浓液。

水泥、水玻璃类浆液具有料源丰富，结石体抗压强度可达10～20MPa，结石率可达100%。无毒、不污染环境，可灌性好，易于配制，注浆设备简单。浆液的凝固时间，可以准确调节。加入少量(小于3%)的磷酸或磷酸氢二钠，浆液即缓凝；加入少量(小于15%)白灰或增加浆液温度，浆液即速凝。适宜用于0.2mm以上裂隙和1mm以上粒径的砂层使用。改变水玻璃与水泥的配合比或改变水泥稠度可以调整浆液凝结时间。惟对细粉粒土壤不易压入。在动水条件下注浆，被水冲走或稀释或排挤变位的程度甚小，

不致于对注浆浆液的凝固产生大的影响;结石体在地层中因不与空气接触,不会受温度影响;在地下水中不含腐蚀性物质,浆液结石体不会因失水而开裂,不产生强度下降问题,由于效果好而被广泛应用于注浆堵水。

铬木素浆液粘度低,凝胶时间可以控制在十几秒到几十分钟之间,凝胶体化学性能稳定、浸水膨胀、抗渗性好,固砂体强度较高、材料来源广、成本低。

丙凝是以水溶液压入岩层,通过氧化—还原体系的引发作用,发生聚合反应,形成具有弹性的、不溶于水的高分子硬性凝胶,达到堵水和固结岩体的作用。缺点是目前料源少、成本高,而且凝固体的强度低。较好的办法是先压入水泥、水玻璃类浆液,使孔隙达到一定程度的闭塞,然后再用丙稀酰胺等化学浆液压注,这样,可以减少化学浆液用量,降低成本并提高凝固体的强度。

聚氨酯浆液压入岩层遇水立即反应,放出 CO_2,发泡膨胀,最后生成聚氨酯泡沫状固结体,达到防渗堵漏和加固岩体的目的。抗渗性能较好,强度较高,其固砂体的抗压强度在 3MPa 以上。遇水迅速反应,体积膨胀,产生二次渗透的作用。其膨胀体积可达原体积的 5~10 倍,因而有较大的扩散半径,并不易被地下水稀释和冲走。单液压注,工艺设备简单,但凝固时间不易控制。

第八章　施工管理

第一节　质量管理

124.喷射混凝土施工质量如何管理?

答:隧道中喷射混凝土,对调动围岩本身积极的支护作用是很重要的,为此须从用料、配比、尺寸、强度等方面进行管理,管理的方法以抽查、试验为主。

①对喷混凝土使用材料一般质量管理的项目和方法可按有关混凝土标准规范进行,其用料试验项目见表8-1。其中特别是骨料粒度分布等对喷混凝土的附着性、质量有很大影响,对其进行适当管理就很重要。表8-2为喷混凝土骨料管理试验。

喷混凝土用料质量试验项目　　表8-1

	试验项目	试验频率	规　定
水　泥	质量试验		
水	水质试验	取水地点或水质有变化时进行一次(饮用水除外)	对混凝土质量有影响的油、酸、盐类、有机质等物质的含量应小于有害物容许含量;用所检查的水搅拌的砂浆,龄期7天及28天的抗压强度应达到用标准水情形的90%以上;不准用海水
速凝剂	质量试验		比重、抗压强度比、凝固时间(制造工厂的规格证明书)

续上表

	试验项目	试验频率	规　定
细骨料	粒度	取料地点或质量有变时进行一次，但与衬砌混凝土用同样材料时则可省略	
	比重(表面干燥)		2.50以上
	吸水率		3.0%以下
	容重		
	筛余量		
	用冲洗试验冲掉的物质		5.0%以下(7%以下)
	有机不纯物质		比标准色较淡
	耐久性		10%以下
粗骨料	粒度	取料地点或质量有变时进行一次	
	比重(表面干燥)		2.50以上
	吸水率		3.0%以下
	容重		
	筛余量		
	粒形判断筛余量		55%以下(仅指碎石)
	粘土块		0.25%以下
	用冲洗试验冲掉的物质		10%以下(1.5%以下)
	耐久性		12%以下
金属网、钢纤维	材质、形状、尺寸	进料时进行一次	

喷混凝土骨料的管理试验　　表 8-2

试验类别	试验内容		试验频率
日常管理试验	砂的表面水量试验；集料入库时粒度状态、含泥土及垃圾等有害物的状况		必要时进行
定期管理试验	细骨料	筛分试验；比重试验；吸水量试验；冲洗试验	必要时或变更采料地点时进行
	粗骨料	筛分试验；比重试验；吸水量试验	

②喷混凝土材料储藏的管理。要使其质量不降低、储量与施工进度相匹配。喷混凝土材料储藏量不足时，施工进度受阻，而储量过多时，会导致多余材料变质，成为质量下降的原因。储藏时应以适当设施保管，不能使异物混入，或受潮生锈、吸湿结块。像水泥应特别注意使其不受雨水等侵害，按入库顺序取出使用；粉末速凝剂的保管，直到掺入前都应特别注意不使其吸湿；液体速凝剂需注意受振动及寒冷低温带来的恶化；金属网和钢纤维的保管场所，尽量做好防雨水、防潮，避免因水分及湿气作用而生锈。

③骨料的表面水量、温度等对喷混凝土的质量影响很大，应加以适当保管。用受寒而冻结的骨料及混有冰雪的骨料，对喷混凝土初期强度的出现有不利影响，储藏时应有防止冰雪混入或防冻的适当设施。天热时为了防止骨料干燥及温度过分升高，必须避免日光直射，还要采取洒水等措施。

④从材料的计量及搅拌机的性能进行喷混凝土配比管理。定期检查材料计量器的精度，以及确认容量与质量的对照。材料计量时的误差有计量器本身的误差和计量装置机械动作及供料工作中产生的误差，为达到质量稳定，应定期举行静荷载检查及动荷载检查。因搅拌叶片的磨耗，搅拌机拌和性能逐渐变化，为了保持其拌和性能，要定期地对搅拌叶片进行检查、更换、修理，并有必要按规定的数量、时间进行拌和性能试验。湿喷用的喷射机上罐兼有搅拌机性能，对此种喷射机械应确认其具有在连续供料时间范围内能将材料充分拌和均匀的能力。

⑤确认喷混凝土达到所要求的喷射厚度。喷射厚度测定方法有预埋钢筋测栓法及喷射后在任意地点进行钻取样芯法。测定时，应定出测点的位置和间距。对喷射厚度进行管理时，还必须注意喷层表面是否平滑。由于金属网的松弛、钢支撑的架设误差、超挖等原因，会在围岩和喷混凝土之间产生空隙，有必要对喷混凝土的密贴性加以注意。

⑥确认喷混凝土已达到所要求的强度。喷混凝土的强度一般是以 28 天强度作为基本数据，如有必要还应确认初期强度。喷混

凝土的强度试验方法有下列各种：

a.从喷射在隧道壁上的喷混凝土上直接采取芯样进行抗压试验。

b.用喷射在梁形模型盒中的试件进行抗压试验。

c.拉拔预埋在喷混凝土中的栓杆以进行试验。

d.从靠边墙戳立的模板盒中喷射的试件中取芯样进行抗压试验。

e.用施密特锤的试验方法。

既便使用b～e这几种方法，必要时还要用a法进行试验，因此最好掌握各法的相互关系。而且在这种时候，由于试件的采取位置、采取方法不同，试验值也各自不同，在充分考虑这些情况的基础上评价试验结果。

125.锚杆施工质量如何管理？

答：隧道锚杆施工质量需从锚杆材料、锚杆安装方面进行管理。管理的方法是定期检查和试验相结合。

①锚杆、垫钣等的材料要进行试验和检查，在确认其材质、形状、尺寸、加工方法等都与设计符合的基础上使用。锚杆的保管到安装完成，使其不附着妨害与锚固材料粘结的各种有害物，如锈、垃圾和油等，也不致挠曲和损伤螺纹等。应事先研究正确的储藏方法和设备，以防止产生次品。

②锚固材料应进行规定的试验和检查，在确认其质量的基础上使用。保管中还必须注意按制品的特性尽力防止其恶化，而在有恶化等嫌疑时必须用检查来确认。

③锚杆原则上应按设计图所示布置方式布设，锚杆孔应确认所规定的孔数、位置、长度、方向及孔径。施工时在现场遇到局部节理、裂缝等情况而加以变更，长锚杆在靠近掌子面处无法垂直于隧道壁设置而变更布置方式，应确认其与原定布置的作用相同。

④为使锚杆具有足够的锚固力，应进行钻孔、锚固材料配合、填充等的管理。钻孔管理需事前确认孔眼已确实可用，然后将孔

内残留的岩粉清除，使其能保证锚杆充分锚固。为此，施工前要选择相同地质条件地点进行拉拔试验，据以研究适当的锚固方式，施工中也应进行拉拔试验，从而确认可以获得足够的锚固力。施工中锚固材料的计量、混合等要认真进行管理，并确认锚固材料沿锚杆全长填充饱满。砂浆的混合、计量等要以规范为基准，但在向上的孔眼及有涌水的孔眼中要注意使用稠砂浆。使用树脂及其他锚固材料时，应按混合比、混合后至使用所经时间以及成品的特性等加强管理。用机械式锚固方式时，要注意钻孔的精度和锚固力，因爆破振动会导致锚固松弛，在距掌子面一定距离处要进行检查，必要时采取再紧固等措施。

⑤垫板应完全密贴在喷混凝土表面或开挖表面。一般是以目测或用小锤轻叩等方法检查，也有用扭矩扳手确认紧固力的。

126. 混凝土衬砌施工质量如何管理？

答：①确认衬砌所用混凝土的材料、配比和强度均与设计符合。灌注混凝土时必须考虑拱圈、仰拱等施工地点、气温、湿度等环境条件，至现场的运输距离，灌注机械的种类等而进行质量管理。在有涌水场合，须检查并确认水中不含对混凝土和钢筋有害的盐类等成分。如将开挖出的岩石破碎后用作骨料时，要注意其质量，必须进行比一般情况更严格的管理。

②检查组装好的拱架模板，确认其中心线和水准装设正确，确保衬砌的形状和尺寸所需的空间；还应确认拱架模板能充分抵抗混凝土荷载，足以保证灌注中不致产生扭转、倾倒、移动等情况。检测衬砌设计厚度，每断面要有测点 10 处左右。

③灌注混凝土后拱架模板如有移动或下沉，或因灌注不饱满面在混凝土中留有空隙，有必要时检查衬砌的形状、尺寸、厚度等。检查衬砌厚度一般采用钻孔检查，钻孔时应钻到能确认衬砌设计厚度所需深度即停钻，应注意不要损伤衬砌背后的防水层。

127.防排水施工质量如何管理?

答:隧道防水所使用的材料,应进行规定的试验和检查,应确认其质量、尺寸、强度等都与设计相符。此外,要观察其施工状态是否符合设计要求。对于防水工作应进行气密试验等以确认其性能;用止水板时,应保证其位置固定,在灌注衬砌混凝土时不致移动。排水作业使用的材料必进行规定的检查,应确认其质量、尺寸、强度等与设计相符。设在路基下的排水管之类的排水设施,应在回填前进行检查,确认无漏、堵现象。

第二节 施工监测

128.施工监测有怎样的地位和作用?

答:施工监测包括对围岩支护变形的观察与量测,是为掌握隧道开挖中周围围岩的动态及各支护构件的效果,并为确保施工的安全性与经济性而必须进行的。原因如下:

①隧道是修筑在地中的线状建筑物,事前对围岩的了解无论在质或量方面都是有限的。因此,在施工前想准确预测隧道所在位置的地层特性有很大困难。自从使用了能与围岩密贴的柔性支护构件,如喷混凝土和锚杆,通过量测掌握开挖中隧道产生的形变动态就容易得多。也就有可能在已往观察经验的基础上加入岩石力学分析的评价,从而可以要求根据施工中的观察和量测来修改设计和施工方法,使之更加适当。

②在隧道建设中为确保工程的安全性与经济性,正确掌握因开挖而引起隧道周围围岩的动态和各支护构件的效果就更加重要。但目前不论用何种方法计算分析,对围岩、喷混凝土、锚杆等支护构件的效果都有不明确之处。所以,根据施工中的观察和量测而正确掌握周围岩的动态和支护构件的效果,在此基础上对设计和施工方法所作的修正是必不可缺的。

③工程安全性不仅包括隧道本身建筑物的安全，还应包括隧道开挖对周围建筑物的影响。特别是浅埋隧道施工，地层松动可能传到地表，作为防患于未然的判断资料，观察和量测就变得越发重要。但在复杂的地层条件中，仅根据量测得到的数值进行判断的做法有一定局限，通常还必须辅以工程观察判断。

129.施工监测包括哪些项目？

答：施工监控量测是在隧道开挖过程中，使用各种量测仪表和工具对围岩变化情况和支护结构的工作状态进行量测，及时提供围岩稳定程度和支护结构可靠性的安全信息，预见事故和险情，作为调整和修改支护设计的依据，并在复合式衬砌中，依据量测结果确定二次衬砌施作时间。

施工监测项目分必测项目（A类量测）和选测项目（B类量测）。必测项目是用以判断围岩的变化情况和支护结构工作状态的经常性量测。选测项目是用以判断隧道围岩松动状态、喷锚支护效果和积累资料为目的的量测。各类围岩量测项目见表8-3。监控量测项目及量测方法见表8-4。

各类围岩量测项目 表8-3

项目 / 围岩	A类量测			B类量测						
	洞内观察	净空收敛	拱顶下沉	地表沉降	围岩位移	锚杆轴力	衬砌应力	锚杆拉拔试验	围岩试验	洞内弹性波
硬岩(Ⅲ~Ⅴ)	×××	×××	×××	×	×	×	×	×	×	×
软岩(Ⅱ~Ⅲ)	×××	×××	×××	×	×	×	×	×	×	×
软岩(Ⅰ~Ⅱ)	×××	×××	×××	×	×××	×××	××	×	××	×
土砂	×××	×××	×××	×××	××	×	×	××	×××	×

注：×××-必须进行项目；××-应进行项目；×-必要时进行项目。

隧道监控量测项目及量测方法　　表 8-4

项目名称	方法及工具	布　置	量测间隔时间			
			1～15天	16天～1个月	1～3个月	3个月以后
地质和支护状况观察	岩性、结构面产状及支护裂缝观察或描述，地质罗盘等	开挖后及初期支护后进行	每次爆破后进行			
周边位移	各种类型收敛计	每5～100m一个断面，每断面2～3观测点	1～2次/天	1次/2天	1～2次/周	1～3次/月
拱顶下沉	水平仪、水准尺、钢尺或测杆	每5～100m一个断面	1～2次/天	1次/2天	1～2次/周	1～3次/月
地表下沉	水平仪、水准尺	每5～100m一个断面，每断面至少11个测点。每隧道至少2个断面。中线每5～20m一个测点	开挖面距量测断面前后<2B时，1～2次/天 开挖面距量测断面前后<5B时，1次/2天 开挖面距量测断面前后>5B时，1次/周			
围岩内部位移(地表设点)	地面钻孔中安设各类位移计	每代表性地段一个断面，每断面3～5个钻孔	开挖面距量测断面前后<2B时，1～2次/天 开挖面距量测断面前后<5B时，1次/2天 开挖面距量测断面前后>5B时，1次/周			
围岩内部位移(洞内设点)	洞内钻孔中安设单点、多点杆式或钢丝式位移计	每5～100m一个断面，每断面2～11个测点	1～2次/天	1次/2天	1～2次/周	1～3次/月
围岩压力及两层支护间压力	各种类型压力盒	每代表性地段一个断面，每断面宜为15～20个测点	1次/天	1次/2天	1～2次/周	1～3次/月

续上表

项目名称	方法及工具	布　置	量测间隔时间			
			1～15天	16天～1个月	1～3个月	3个月以后
钢支撑内力及外力	支柱压力计或其他测力计	每10榀钢拱支撑一对测力计	1次/天	1次/2天	1～2次/周	1～3次/月
支护、衬砌内应力、表面应力及裂缝量测	各类混凝土内应变计、应力计、测缝计及表面应力解除法	每代表性地段一个断面，每断面宜为11个测点	1次/天	1次/2天	1～2次/周	1～3次/月
锚杆或锚索内力及抗拔力	各类电测锚杆、锚杆测力计及拉拔器	必要时进行				
围岩弹性波测试	各种声波仪及配套探头	在有代表性地段设置				

注：B 为隧道开挖宽度。

130.何为洞内观察的要点？

答：洞内观察要在开挖后及时进行，特别是在软弱围岩条件下，开挖后应立即进行开挖面的地质调查，并绘出地质素描图。若遇特殊不稳定情况时，应派专人进行不间断的观察。洞内观察主要方面有：

①对开挖后没有支护的围岩的观测：节理裂隙发育程度及其方向；开挖工作面的稳定状态，顶板有无坍塌现象；涌水的位置、涌水量、水压等；是否有底板隆起现象。

②对开挖后已支护地段围岩动态的观测：是否发生锚杆被拉断或垫板脱离围岩现象；喷混凝土是否发生裂隙和剥离或剪切破坏；钢拱架有无被压变形情况。

③观察围岩破坏形态分析：危险性不大，不会发生急剧破坏，如加临时支撑之后即可稳定的情况；应当引起注意的破坏，如拱顶混凝土喷层因受弯曲压缩的影响而出现的裂隙；危险征兆的破坏，如拱顶混凝土喷层出现有对称性局部的崩落、侧墙内移等。

131. 地表下沉量测的要点有哪些？

答：浅埋隧道洞顶地表下沉量测应在隧道尚未开挖前就开始进行，借以获得开挖过程中全位移曲线。测点和拱顶下沉量测布置在同一断面上。地表下沉量测纵向间距见表 8-5。地表下沉量测横向测点一般布置在 4～6 倍洞室宽范围，隧道中线附近密些，外侧渐稀，间距为 2～5m。在埋设点挖长、宽、深均为 20cm 的坑，然后放入沉陷测点，测点一般采用 ϕ20～30mm，长 20～30cm 半圆头钢筋制成，测点四周用混凝土填实。在开挖影响范围以外设置水平基点 2～3 个，埋设方法相同。

地表下沉量测纵向间距　　表 8-5

埋深(h)与开挖宽度(B)	纵向测点间距(m)	埋深(h)与开挖宽度(B)	纵向测点间距(m)
$h>2B$	20～50	$h<B$	5～10
$B<h<2B$	10～20		

使用普通水准仪和水准尺，测出各沉陷测点的标高，然后按下式计算沉陷量：

$$u_n = A_0 - (A_{基} + R_{后} - R_{前})$$

式中：u_n——第 n 次量测下沉量(mm)；

A_0——测点初始标高(mm)；

$A_{基}$——水准基点标高(mm)；

$R_{后}$——第 n 次量测后视读数(mm)；

$R_{前}$——第 n 次量测前视读数(mm)。

132. 净空变化量测和拱顶下沉量测有哪些控制要点？

答：净空变化量测和拱顶下沉量测，应在同一断面上进行。量

测断面的间距可按表 8-5、表 8-6 选用。

净空变化、拱顶下沉量测断面间距表(m) 表 8-6

围岩类别	洞口附近	浅埋地段	施工初期阶段	取得效果后
Ⅳ	10～15	10～15	20	50
Ⅲ	10	10	15	20
Ⅱ	5	5	10	10～20
Ⅰ	5	5	10	10～20

净空变化量测基线在横断面上的布置如表 8-7 所示。以水平基线量测为主,必要时设置斜基线。量测频率(单位时间的观测次数)见表 8-4。对以下情况要调整量测的断面位置、间隔、频率:

对膨胀性地质,地层长期不稳定时:缩短间隔、增加频率;

早开挖或迟缓开挖时:调整断面位置、缩短间隔、增加频率;

隧道的总长发生变化时:调整断面位置、增长或缩短间隔;

地质良好,且是同样连续时:增长间隔、减少频率;

地质变化显著时:调整断面位置、增长或缩短间隔、增加或减少频率;

能很快取得测定值时:增长间隔、减少频率。

净空变化量测基线布置表 表 8-7

施工方法	一般地段	特殊地段			
		洞　口	埋深小于 2 开挖坑道	膨胀或偏压地段	实施 B 类量测地段
全断面	1～2 条水平基线	1～2 条水平基线	外加 2 条斜基线	外加 2 条斜基线	外加 2 条斜基线
短台阶	2 条水平基线	2 条水平基线	外加 2 条斜基线	外加 2 条斜基线	外加 2 条斜基线
多台阶	每台阶 1 条水平基线	每台阶 1 条水平基线	外加 2 条斜基线	外加 2 条斜基线	外加 2 条斜基线

注:外加 2 条斜基线与 1 条水平基线构成三角形测线。

施测时,把净空变位仪与固定在岩体内的施测短杆相连接。初次量测(测始读数)在钢尺上选择一个适当的孔位,将钢尺套在

钢尺支架固定螺杆上，孔位应选择钢尺张紧时滑块能与百分表顶端接触且读数在0～25mm的范围内，拧紧钢尺压紧螺帽并记下钢尺孔位读数，挂上重锤，记下百分表读数，然后将重锤提起重复测试3次，取平均值作为初始观测值 R_0，以后重复上述操作，可得到第 n 次量测时的观测值 R_n，则第 n 次量测时的净空变化值 u_n 可用下式计算：

$$u_n = R_n - R_0$$

当百分读数大于25mm时，钢尺需另换一个孔位与尺架联接，为了消除钻孔间距的误差，换孔前后应各测一次，读数分别为 R_n、R_{n0}。往后计算净空变化时即以后一次表读数 R_{n0} 为基准再加上换孔时的净空变化值 u_n，则第 k 次量测时的净空变化值 u_k 与量测读数 R_k 有下列关系式：

$$u_k = u_n + R_k - R_{n0}$$

读数的温度修正按下式计算：

$$R_{nt} = (20 - t_n)L\alpha \qquad (\text{以}20℃\text{为标准温度})$$

式中：R_n——第 n 次量测的温度修正；

t_n——第 n 次量测时的钢尺温度；

L——钢尺长度；

α——钢尺线胀系数，$\alpha = 12 \times 10^{-6}/℃$（或钢尺检验资料）。

拱顶下沉量测测点，一般布置在拱中和两侧拱腰，每断面布置三点，当受通风管阻碍或有其他障碍时，可适当移动位置。水准基点一般设在拱顶，选择在围岩稳定地段设置。下沉量计算

$$u_n = A_0 - (A_{基} - R_{后} + R_{前})$$

式中：u_n——第 n 次量测下沉量(mm)；

A_0——测点初始标高(mm)；

$A_{基}$——水准基点标高(mm)；

$R_{后}$——第 n 次量测后视读数(mm)；

$R_{前}$——第 n 次量测前视读数(mm)。

133. 围岩稳定性有何判别标准?

答:围岩稳定性判别标准问题,不仅同围岩类别以及其他地质因素有关,而且还同施工方法、支护手段等人为因素有关,是比较复杂的。因此,在评价围岩稳定程度时应根据工程的具体情况采用下述三种判别标准综合分析,以确定比较符合实际的标准。

①根据实测位移或预计最终位移值判别

在隧道开挖过程中若发现量测的位移总量超过某一临界值时,或者根据已回归函数预计最终位移将超过某一临界值时,表明围岩难以稳定,需要加强支护。我国《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)规定的位移标准见表 8-8。

隧道周边允许相对位移值(%) 表 8-8

围岩类别 \ 埋深(m)	<50	50~300	>300
III	0.10~0.30	0.20~0.50	0.40~1.20
IV	0.15~0.50	0.40~1.20	0.80~2.00
V	0.20~0.80	0.60~1.60	1.00~3.00

注:①周边位移相对值系指两测点间实测位移累计值与两测点间距离之比。两测点间位移值也称收敛值。

②脆性围岩取表中较小值,塑性围岩取表中较大值。

③本表适用于高跨比 0.8~1.2 的下列地下工程:

III 级围岩跨度不大于 20m;

IV 级围岩跨度不大于 15m;

V 级围岩跨度不大于 10m。

④I、II 级围岩中进行量测的地下工程,以及 III、IV、V 级围岩中在表注 3 范围之外的地下工程应根据实测数据的综合分析或工程类比方法确定允许值。

②根据位移变化速率判断

位移变化速率,即$\frac{du}{dt}$,当$\frac{du}{dt}$大于某临界值时则认为围岩未稳定,反之则认为围岩已经达到基本稳定。可根据工程特点和围岩条件,制定本工程的位移临界变化速率的标准。

日本"NATM 设计施工技术指南"中提出当位移变化速率大于

20mm/d 时，就需要进行特殊支护。

法国"NATM 施工标准"中规定，当月累计收敛量小于 7mm，即每天平均变形速率小于 0.23mm/d 时，认为围岩已达到基本稳定。

我国隧道界制定的位移速率的标准为：当位移变化速率大于 lmm/d 时，则认为围岩处于急剧变形阶段，需加强观测，若位移速率长期不下降则需加强支护；当净空变化率在 0.2～1.0mm/d 之间时，认为围岩处于缓慢变形阶段，表示围岩向稳定方向发展；当净空变化率小于 0.2mm/d 时，则认为围岩达到基本稳定。并规定只有当位移变化速率小于 0.2mm/d 时，方可进行二次支护；对于膨胀性围岩，则净空变化速率达到 1mm/月时，方可施作二次支护；对于浅埋隧道往往提前施作二次支护。

③根据位移变形加速度判断

变形速率不断下降，即$\frac{d^2u}{dt^2}<0$，表示围岩趋于稳定，支护是安全的；

变形速率长时间保持不变，即$\frac{d^2u}{dt^2}=0$，应及时调整施工程序和加强支护系统的刚度和强度；

变形速率逐渐增加，即$\frac{d^2u}{dt^2}>0$，表示围岩已达到危险状态，必须立即停工加固。

134. 量测计划怎样制定？

答：在编制量测计划时，要根据基本方针，顺次研讨之后编制。基本方针为：

①预测随开挖产生的现象。量测计划要按隧道设计预计的地压及施工计划预定的施工方法来编制，预测因开挖可能发生的现象。如大断面隧道比小断面隧道的地压大得多，需采用分部开挖，对围岩多次扰动；有地形偏压作用的或埋深浅的洞口段，比埋深大的洞身段地表变位显著；膨胀性围岩较坚硬围岩的变形量大和变形期长。另外，山岭隧道和城市隧道的当地条件不同，对周围环境

的照顾也不一样。

②明确量测目的。针对上述预测结果，确定量测项目。在因位移过大而成问题的隧道中，以位移量测为中心制定量测计划；而在掌子面自立性成问题的隧道中则应将重点放在掌子面的观察上；浅埋隧道的重点是根据地表下沉测定等项目监视围岩的松动现象。此外，有确认支护构件效果量测的必要。

③明确量测结果的利用方法。通过洞周位移量测，判断洞室的稳定性；通过支护构件受力量测，分析隧道结构使用效果；根据随施工进展而获得的量测结果，进一步把支护形式及施工方法一起加以变更等。

一般量测计划的内容包括：量测项目的选定；量测位置的确定；量测频率的选定。详细计划还应包括：量测机具、仪器的选定；记录格式的绘制。

135. 观察、量测项目怎样选定？

答：根据设计对围岩条件的评价，设想开挖时应防止哪些现象出现，仔细研究每一种量测的作用和结果的利用，再选择观察、量测项目。有关围岩条件在施工时成问题的现象，以及为此选定的必要观察、量测项目的大致如表 8-9 所示。

观察、量测项目按围岩条件的选择　　表 8-9

围岩条件	施工时成为观察、量测对象的现象	必要的观察、量测项目	按不同情况追加的观察、量测项目
硬岩围岩	从裂隙等的分离面脱落的岩块、岩片的松动；掉块，崩落岩爆	洞内观察调查；净空位移量测；洞顶下沉量测	AE 测定（对岩爆用）
软岩围岩（不包括膨胀性围岩）	岩块、岩片松动；，掉块，崩落	洞内观察调查；净空位移量测；洞顶下沉量测	地中位移量测；锚杆轴力量测；岩石试一件试验；地表下沉量测（浅埋情形）

续上表

围岩条件	施工时成为观察、量测对象的现象	必要的观察、量测项目	按不同情况追加的观察、量测项目
膨胀性围岩	边墙挤出；底鼓；掌子面挤出	洞内观察调查；净空位移量测； 洞顶下沉量测；地中位移量测； 锚杆轴力量测；喷混凝土应力量测；作用荷载量测	断面量测；支护下沉量测；底鼓量测；初期位移量测；岩石试件试验； 衬砌应力量测
土砂围岩	围岩松弛及随之产生地表下沉；掌子面流出；对邻接建筑物的影响	洞内观察调查；净空位移量测； 洞顶下沉量测；地表下沉量测；地中位移量测(地中下沉)	地表(地层，建筑物)观察调查；地中位移量测(倾斜仪)；锚杆轴力量测； 喷混凝土应力量测；作用荷载量测； 土质试件试验

注：①此表是表示对已成问题的现象为对象而选定观察量测项目的考虑方法，因而，按每一个情况选定正确项是非常重要的；

②在所有围岩条件下，地下水对隧道的影响都很大，有必要时要从洞外钻探在洞内超前钻探，然后利用钻孔测定地下水位、涌水量、涌水压、渗透系数等。

136. 如何做好施工监测管理？

答：量测工作是施工管理中的一个重要环节，是施工安全和质量的保障；施工监测的结果应尽快地反馈到施工和设计中去。故应从以下几方面进行管理。

①对专职量测技术人员的要求：负责量测计划安排；负责量测资料的整理；及时向施工负责人汇报洞内围岩稳定状态，并定期提出围岩稳定性和支护可靠性的书面报告；当量测结果出现危险信息时，应立即向施工负责人报告，并协助施工负责人进行紧急处理。

②对量测工的要求：量测工应具有初中或相当初中以上的文化水平和一定现场实践经验；量测工作要认真负责；在技术人员的指导下，负责测点的埋设和日常的量测工作，并做好量测记录；负责量测元件的准备、工地零星加工和量测仪表的保养工作。

③测试前注意事项：检查仪表设备是否完好，如发现问题及时修理或更换；检查测点是否松动或人为损坏，确认测点状态良好时方可进行测试工作。

④测试中注意事项：按量测的操作规程安装好仪器仪表，每测点一般测读三次，三次读数相差不大时，取算术平均值作为观测值，若读数相差过大时应检查仪器、仪表安装是否正确，测点是否松动，当确认无误时再进行测试；每次测试时都要做好记录，并记录环境温度、掘进里程以及施工情况等，并保持原始记录的准确性；在现场进行粗略计算，若发现变形较大时，应及时通知现场施工负责人。

⑤测试完毕注意事项：检查仪器、仪表，做好养护、保管工作；及时进行资料整理。

⑥量测资料整理事项：对量测资料应认真检查、审核和计算，每次量测结束后，应在 2h 内进行资料整理工作。及时将资料填入有关图表，以便及时了解数据反映的变化规律，便于各断面和不同量测手段之间的对比。

137. 观察作业有哪些内容？

答：施工过程中的观察分为掌子面地质观察，已施工地段的支撑、衬砌状态的观察及隧道上方地表的观察。

①掌子面观察要掌握的项目有：岩性分布，地层走向、倾斜；固结度，风化、变质的程度，软硬程度；裂隙方向、间隔、状态，有无夹层及夹杂物质性态；断层的位置和走向、倾斜、破碎程度；涌水的位置和水量，是否浑浊；掌子面有无岩片、岩块剥落或崩落。

②已施工地段观察要注意的事项为：喷混凝土与围岩的粘着状况；钢支撑变形，压屈的位置、状况；钢支撑与喷混凝土一体化的

状况；可缩支撑的缩小状况；喷层或衬砌裂隙发生位置、种类、宽度、长度等；涌水地点及其状态，涌水量。记录变形的位置、种类、规模、机理等，有必要时要作位置图、示意图。

③浅埋段地表观察应注重的方面是：施工前在预计受影响的范围内，对地表及建筑物状况进行调查；施工中地表裂缝的位置、种类、宽度、长度等；建筑物的沉陷、倾斜、开裂的状况及发展趋势。

138. 选定量测位置的要点是什么？

答：在考虑每个隧道的特殊性、规模、围岩条件、施工方法、已施工地段的量测结果等的基础上，将纵向的量测断面布置及各量测断面内的量测元件的布置适当地定出。具体量测位置选定上的要点如下：

①净空位移量测，洞顶下沉量测。原则上是在同一断面内进行的，而且其他量测项目的实施地点也要这样安排。但因围岩及开挖方法、风管位置等原因，可加以适当修正。水平测线为必需的，斜测线是有必要时才实施的，如在洞口附近、浅埋区段、有偏压或膨胀性土压的区段布设。在其他地段，当与解析法一起综合判断结果时，最好也布置斜测线。洞顶下沉位移量大、隧道下沉成问题的场合，以及由于施工上的原因，把测线选在洞顶中心之外的情形也有。此外，也有一起进行支撑基脚下沉的量测，以便用来判断整个隧道下沉状况的情形。如仰拱有底鼓问题时，在仰拱处也要布置测点。量测净空位移的断面在隧道轴向的间距：随围岩条件、断面规模等而不同，很难统一定出，最好由每个现场的技术负责人具体拟定。

②洞内地中位移量测，锚杆轴力量测，喷混凝土和衬砌的应力量测。这些量测尽可能在施工开始阶段就在有代表性的围岩条件区段进行，以便对隧道设计、施工方法进行评价或改变。此外，在围岩条件发生变化、改变施工方法及支护形式处进行这类量测很有必要。

③洞外地表下沉量测、洞外地中位移量测。埋深越小则测点

沿隧道纵向的间距越小。如量测是为综合评价服务的话，最好与净空位移量测、洞顶下沉量测及其他洞内量测进行的位置一致。地表下沉量测的测点沿隧道的纵向间距，可参考表 8-10。

地表下沉量测的测点沿隧道纵向间距　　表 8-10

埋深(h)与隧道开挖宽度(D)的关系	测点间距(m)	埋深(h)与隧道开挖宽度(D)的关系	测点间距(m)
$2D < h$	20 ~ 50	$h < D$	5 ~ 10
$D < h < 2D$	10 ~ 20		

注：施工初期阶段，地质变化剧烈，下沉量大等场合采用表中小值。当有邻接建筑物，采用表中小值，或采用更小值。施工进行一定程度后，地质良好而少变化，下沉量小等场合采用表中大值。

139. 观察、量测结果如何整理？

答：观察、量测结果可反映隧道开挖时围岩和支护的动态，应汇总整理成能准确掌握这些状况的易懂的图、表等，主要把隧道纵向、横向的量测位置及量测时间等和量测项目相应的数据加以联系。表 8-11 给出观察、量测结果的整理项目。

量测结果的整理项目　　表 8-11

量测项目	整理项目		
	经时变化或经距变化	横向分布	纵向分布
洞内观察		○	○
净空位移量测	○		○
洞顶下沉量测	○		○
地中位移量测	○	○	
锚杆轴力量测	○	○	
喷混凝土，衬砌应力量测	○	○	
地表、地中下沉量测	○	○	○
洞内弹性波速度量测			○

整理出的图、表要把洞内观察结果的要点及地形、地质的特殊

情况，开挖、支护等施工状况及量测项目以外的注意事项都同时记入，整理成可对比其相互关系的材料。由于容易掌握整体状况，也就容易进行综合评价，这是很重要的。对于膨胀性围岩、断层破碎带、涌水地带等特殊围岩状况，主要应使用符合观察、量测目的的整理方法去进行。

140. 观察、量测结果在设计、施工中如何反映？

答：将观察、量测结果反映到设计、施工中可分为两个步骤：

第一步，在每日作业中侧重对掌子面及后续开挖区段的围岩状况进行判断，对已施工区段的围岩及支护的动态进行监视，作为研究该区段设计、施工妥当与否的依据。从一开始就设定判断基准，主要为掌子面及洞内的观察、施工中围岩及支护的动态（净空位移、洞顶下沉等）等。仅根据一种项目设定的基准进行判断，其应用范围是有限的，需综合研究根据哪些基准项目进行判断是至关紧要的。

第二步，为从整体上确认原设计与施工计划是否适合围岩条件，除观察净空位移、洞顶下沉等的量测之外，必要时还须同时在洞内收集围岩试件作试验，在洞内作弹性波速度试验、承载试验等，进行综合的评价，并对围岩特性进行重新评价，对相应的支护形式的妥当性进行研究。为此进行的观察、量测及其评价，多在施工初期阶段对有代表性的围岩地段进行，之后即将其反映到后续区段设计、施工中。

141. 评价量测结果时应注意哪些事项？

答：①可能有未包括开挖前产生的围岩动态的情况。量测数据是由已施工区段的结果得出的，与未开挖区段的围岩动态未必有直接的联系，但是根据对已施工区段的观察，量测结果的充分理解而预测掌子面前方将发生的现象仍然很重要。

②判断基准的掌握。为增大支护规模的判断或管理基准的设定是比较容易的，要明确为减小支护规模的判断基准则很难，但在

看出安全系数明显过大的场合，最好将其与观察、量测结果的相互关系仔细研究，然后修正设计与施工，以更加经济。

③也有无法量测的围岩动态。掌子面的观察，要对无法量测的因素进行综合的正确判断，这不仅必须，而且很重要。在施工中，根据掌子面的观察掌握围岩的状况，进而研究采取必要的措施。

④数据受仪器特性(精度、误差等)的制约。

第九章　临时设备

第一节　污水处理设备

142.如何确定污水处理设备?

答:①根据地质调查资料推算的涌水量和计划施工用水量,决定基本处理水量。对周围的河流条件及流到下流的水质污染环境问题加以考虑,在慎重研究了设备的处理能力后制定计划。

②隧道施工经常要出现比原预测水量大得多的涌水,污水处理设备一旦设置,就不容易再增设或变更,故要有计划地采用机器有可能增设的型号,和有余裕的放置设备的用地。

③对于中和装置有二氧化碳方式和稀硫酸方式。目前大多采用比较容易操作的二氧化碳方式。特别是预测有大量的注浆工程的场合,由于pH值上升,故希望采用中和装置处理能力有余裕的设备。

143.怎样管理污水处理?

答:①要经常记录管理原水量和处理水量的水量、SS值、pH值等,在出现异常值时,需要立即追查起因,采取相应处理措施,同时,还要对处理能力等进行研究。

②将污水处理后的污泥作为产业废料进行处理时,必须采用脱水等措施努力减量并进行适当的处理。在搬运废弃物时,必须使用不会让废弃物飞散或流失的适当结构的运输车辆等。

③要将文件类进行保管和管理。

第二节　施工通风

144.有害气体对人体有怎样的危害?

答:隧道作业中所发生的有害物质有施工机械产生的,也有自然释放的,对人体的影响程度也是多种多样的,如一氧化碳(CO)、氧化氮(NO_x)、二氧化碳(CO_2)、甲烷气体(CH_4)、硫化氢(H_2S)、亚硫酸气(SO_2)、矿物性粉尘、煤烟、缺氧空气等,是换气对象中的有害物质。在表9-1中列出了有害气体等的性质和容许浓度。

有害气体的性质、容许浓度　　表9-1

种　类	预料中毒危害	相对密度(取空气为1.0)	爆炸范围(vol%)	容许浓度(ppm)		日本法令通告条文的限制值
				日本产业卫生学会	ACGIH	
一氧化碳(CO)	中毒、其他危害	0.97	12.5~74.0	50	25	
一氧化氮(NO_1)	中毒	1.04			25	
二氧化氮(NO_2)	中毒	1.59			3	
硫化氢(H_2S)	中毒	1.199		10	10	10ppm
亚硫酸气(SO_2)	中毒	2.26			2	
氯化氢(HCl)	中毒	1.27		5C	5	
二氧化碳(CO_2)	缺氧、中毒	1.53		5000	5000	1.5%
缺氧(O_2)	缺氧	1.11				18%
剩余氧气(O_2)	激烈燃烧	1.11				
甲醛(HCHO)	中毒	1.07		0.5(暂定)		
甲烷(CH_4)	爆炸	0.55	5.3~14.0			1.5%
乙炔(C_2H_2)	爆炸	0.91	2.5~81.0			
丙烷气体(C_3H_8)	爆炸	1.56	2.2~9.5			

注:ACGIH是American Conference of Governmental Industrial Hygienists的简称。该容许浓度根据1994年的资料记载。印有C记号的是拱顶值(绝对不要超过该浓度值)。ppm为Part Per Million简写,容积比为100万分之一。

洞内重型机械内燃机发生的气体和爆破后的气体中含有一氧化碳(CO),由于无味无刺激,故存在无警告性的中毒危险。与空气的混合比例在12.5%~75%的范围,遇火容易发生爆炸。对人体的影响如表9-2。

一氧化碳浓度与对人体的影响　　表9-2

中毒指数(ppm×h)	对人体的作用	中毒指数(ppm×h)	对人体的作用
90以下	发生头痛、喘气	600以下	有异常感觉
300以下	看不出有明显作用	1200以下	生命危险

二氧化碳(CO_2)主要产生于爆破后的气体、内燃机排出的废气和人的呼气中,无色、无味气体,无引火性和爆炸性,也是不燃性气体。对人体的毒性影响弱,但在高浓度的场合会使人出现麻痹现象,有时会窒息死亡。表9-3为二氧化碳浓度与对人体的影响。

二氧化碳浓度与对人体的影响　　表9-3

二氧化碳(CO_2)浓度	对人体的作用
1%~2%	引起不快感
3%~4%	脉搏加快、呼吸加快、血压升高、头痛、头晕
6%	呼吸困难
7%~10%	数分钟内意识糊涂
10%~20%	呼吸停顿、失去知觉
20%~25%	中毒死亡

隧道工程中使用的直喷式柴油机所产生的氧化氮(NO_x)比一氧化碳的发生量还要多,在爆破后的气体中也含有。对人体健康有影响的二氧化氮(NO_2),是一种赤褐色的气体,有强刺激味,无引火性和爆炸性,但毒性强。在高浓度的场合,对眼、鼻、喉有强烈的刺激,引起咳嗽、咽头痛,还会导致头晕、头痛、恶心呕吐等症状。一旦吸入量多时,在5~10h后,嘴唇就会发青,发生发绀症,导致肺水肿;作为慢性症状,会引起慢性支气管炎、肠胃障碍、牙齿腐

蚀、失眠症等。表 9-4 为二氧化氮浓度与对人体的影响。

二氧化氮浓度与对人体的影响　　表 9-4

二氧化氮浓	对人体的作用
0.0006%	短时间内即对呼吸器官有刺激
0.01%	咳嗽、胸痛
0.25%	很快死亡

缺氧空气是由于空气中氧气的消耗和地层中缺氧空气的喷出而造成的。空气中氧含量减少对人体影响见表 9-5 所示。

空气中氧含量减少对人体影响　　表 9-5

空气中氧含量	对人体的作用
>16%	在正常状态无特别症状
16%～12%	呼吸及脉搏跳动急促、头痛、体温上升
14%～10%	皮肤发绀
9%～6%	痉挛、失去劳动力、意识不清、时间稍长即有生命危险

145. 有害物质的产生量怎样确定?

答:通风设计时,要对成为发生源的有害物质的产生量及其特性等进行确认;在作业期间,需要进行定期的浓度测定以确实保证设定的目标管理浓度。

①自然发生气体,大致可分为可燃性气体和不燃性气体两类,作为隧道工程中应注意的有甲烷(CH_4)、硫化氢(H_2S)等,其成因和气体的种类则是多方面。缺氧空气是因氧气的消耗和含氧量少的空气喷出造成,但其发生形态则是多种多样的。这两类气体都因地质等自然条件不同而使得发生量大有变化,要找出一定的规律是很困难的,必须通过事前调查和施工中的调查等进行预测。

②隧道内进行爆破开挖,作为通风计算基础的有害气体的种类与每公斤炸药标准发生量如表 9-6。

爆破炸药的种类与有害气体的发生量　　表 9-6

炸药种类	通风对象(有害气体)	标准发生量(m^3/kg)
2号淡黄色炸药	一氧化碳(CO)	8×10^{-3}
含水炸药	一氧化碳(CO)	5×10^{-3}
其他黄色炸药	一氧化碳(CO)	11×10^{-3}

③隧道内使用柴油机，排出气体中氧化氮(NO_2)的每分钟额定功率的标准发生量如表 9-7。

柴油机所产生的有害气体发生量　　表 9-7

柴油机的类别	有害气体发生量(m^3/min·PS)	柴油机的类别	有害气体发生量(m^3/min·PS)
铲斗系	55.0×10^{-6}	其他	20.0×10^{-6}
翻斗系	20.0×10^{-6}		

④隧道掌子面附近，钻孔、爆破、机械开挖、清碴及喷射混凝土等发生粉尘的量，需在作业期间定期进行其浓度测定，根据测定结果来研究所用通风量和通风方式是否恰当、喷射方法的性能是否适合等，以期作必要的改善。

⑤隧道内的作业人员的呼吸中所含的二氧化碳(C02)量，为每人 $1.2\times10^{-3}m^3$/min。

146. 如何推算施工所需通风量？

答：①隧道内爆破后气体所需的通风量 Q_2，是指将爆破后的浓度在 t 分钟时间内降低到浓度管理值，计算式如下：

$$Q_2 = K \times P(a \times t)$$

式中：Q_2——所需通风量(m^3/min)；

P——一次爆破造成的有害气体发生量 (m^3)；

a——一氧化碳(CO)的目标管理浓度值 (50ppm = 50×10^{-6})；

t——所需通风时间(min)；

K——通风系数(排气方式取 0.4)。

②隧道中使用柴油机所需的通风量 Q_3，对于 NO_x 由下式算出。在计算时的平均额定输出的通风量及机械的运转率，使用表9-8的数值。

柴油机的 PS 的通风量　　表 9-8

柴油机的类别	平均额定输出的通风量(m^3/min·PS)	运转率
铲斗系	2.2	0.2~0.3
翻斗系	0.8	0.4~0.5
其他机械	0.8	0.15~0.2

$$Q_3 = (H_s \times q_s \times a_s) + (H_D \times q_D \times a_D) + (H_E \times q_E \times a_E)$$

式中：Q_3——所需的通风量(m^3/min)；

H_s——铲斗系使用机械的总额定输出(PS)；

H_D——翻斗系使用机械的总额定输出(PS)；

H_E——其他类型机械使用的机械总额定输出(PS)；

q_s——铲斗系的平均额定输出的通风量(m^3/min·PS)；

q_D——翻斗系的平均额定输出的通风量(m^3/min·PS)；

q_E——其他类型机械的平均额定输出的通风量(m^3/min·PS)；

a_s——铲斗系的运转率；

a_D——翻斗系的运转率；

a_E——其他类型机械的运转率。

③由于作业员的呼气所造成二氧化碳污染所需通风量，必须为每人最低 $3m^3$/min。

④施工所需通风量 Q_a，按如下公式来决定。

$$Q_a = Q_p + Q_{max}$$

式中：Q_a——所需的通风量中(m^3/min)；

Q_p——对作员所需的通风量(m^3/min)；

Q_{max}——各工种通风量之中的最大值(m^3/min)。

在这里，Q_{max}采用以下各通风量中最大值：

Q_{1a}——可燃性气体的扩散、稀释所必须的通风量(m^3/min)；

Q_{1b}——有害气体的扩散和稀释所必须的通风量(m^3/min)；

Q_{1c}——缺氧空气的稀释所必须的通风量(m^3/min)；

Q_2——对爆破后气体所必须的通风量(m^3/min)；

Q_3——对使用机械的排气所必须为通风量(m^3/min)；

Q_{4a}——对喷射混凝土时产生粉尘所必须的通风量(m^3/min)；

Q_{4b}——焊接休谟管时所必须的通风量(m^3/min)；

Q_5——高温、高热对策等必须的通风量(m^3/min)。

147. 如何选择通风方式?

答：通风方式有自然通风方式和强制通风方式。强制通风方式有风管通风法和坑道通风法。风管通风法有排气式、送气式和送排气组合式三种。坑道通风法是在施工中的隧道本身用坑道成环形状风道。对这些各种通风方式的选用必须对隧道的规模(截面面积、全长等)、施工方法、施工条件等加以考虑，选择最适合的通风方式。有关各种通风方式的概要见表 9-9。

各种通风方式的概要 表 9-9

通风方式	风机设置方法(风管内压力)	使用方法	特征
排气式	集中(负压)	将换气风机一并布置在隧道外，将风管的吸入口设在掌子面附近、用硬质风管把空气污染物质排出	○由于用风管直接排出在掌子面产生的污染空气物质，故不使之扩散到整个隧道。 ○由于吸入范围被限定，需与局部用通风机组合。 ○不能使用软管
	集中(正压)	是把主通风扇一并布置在隧道内，配合掌子面进展移动的方法，由于主通风机的风管为正压，故可使用软管	○由于主通风机设置在隧道内，故在掌子面的吸入能力高。并且可使用软管。 ○不需要隧道外的噪声对策。 ●隧道内的噪声对作业有妨碍。 ●对主通风机的移动和风管延伸费功夫

续上表

通风方式	风机设置方法（风管内压力）	使用方法	特征
排气式	直列（负压）	于风管的中间带设置小型轴流风机，随掌子面的掘进使风管顺次接续延伸，用风管将空气污染物质排出	○通风机1)的集中式小型、良好。 ●由于连接地方多，容易引起漏风。 ●虽然可用软管，但由于在接合部的负压受到破坏，使管内的摩阻力增大
	直列（正压）	在将通风机设置在掌子面侧的同时，还要在风管中途设置通风机使之排气	○在可以使用低压风机的同时，不需要隧道外的防噪声措施。 ●隧道内的噪声要妨碍作业。 ●对主通风机的移动和风管延伸费功夫
送气式	集中（正压）	设备与集中和排气式相同，是将风管的吹出口设在掌子面附近，即将新鲜的空气从隧道口用软管送到掌子面附近，又将污染空气进行稀释，通过隧道排出	○可把新鲜空气送到掌子面。 ○风管的延伸比较容易。 ●由于隧道全长范围都有空气污染，故途中的作业环境都比较恶劣
	直列（正压）	设备与直列和排气式相同，是用风管将新鲜空气送到掌子面附近，通过隧道排出空气污染物质	△虽然轴流式通风机比1)的集中式良好，但由于连接地方多，所以容易造成漏风。 ●由于接合部是负压，所以摩阻力增大。 ●由于整个隧道的空气都被污染，故中途的作业环境恶化

续上表

通风方式	风机设置方法（风管内压力）	使用方法	特征
送排气并用	集中	设有两种系列的通风设备，送风机要比排气风机容量大，要设置在距送风出口的隧道洞口侧适当的位置，使风管顺次延伸	○适用于通过长的水平隧道、横坑道等作业隧道的场合。 △弥补了集中排气式、集中送气式的缺点。 ▲因设备的选择而得不到有效的通风
	直列	由直列排气式与直列送气式两种系列的通风设备组成	○对排气系列的风管也可使用软管。 ●与集中配置作比较，由于连接地方增加，故容易引起漏风。 ●排风管侧的延伸非常困难
送排气组合	集中（负压）	为了提高排气式或送气式的通风效果，要在掌子面附近的作业空间增设作为送风用的辅助通风机。 是一种在隧道内设送风机，在隧道外设排风机，将新鲜空气送到掌子面，将稀释后的污染空气通过排风机向洞外排出的方式。 送风用风管，由于是正压，故可用软管，而排气用风管，为负压，故用硬管	○为了使掌子面附近作业空间的空气污染物质的排除效果差的排气式缺点得到改善，一般大多采用此种方式。 ○即使是大于 1000m 的长大隧道，在掌子面也能充分确保所需的换气通风量。 ○风管的长度比送气排气并用式短。 ●风管的设置位置与风量分配非常重要。 ●由于污染空气在隧道内流动，所以隧道衬砌作业环境不好。 ●由于送风管为正压，所以可以使用软管，但排风管为负压、故需用硬管。 ▲必须考虑到送气和排气用的风量控制等。 ▲对于排风管，特别要注意防止漏风。 △对于排风机吸入口的吸入风流，必须下工夫使其顺畅

续上表

通风方式	风机设置方法（风管内压力）	使用方法	特　征
送排气组合	集中（正压）	是一种把送风和排风用的2台大型风机设置在隧道内衬砌用模板前，向掌子面送入新鲜空气，将稀释后的污染空气通过排风机进行排出的方式。 由于风管送风和排风都是正压，故都可以用软管	○即使在1000m以上的长大隧道，也能充分确保在掌子面所需的换气通风量。 ○风管总长比送气和排气并用式短。 ●由于污染空气在隧道内流动，故隧道的衬砌作业环境条件差。 ▲需要对送气和排气用的通风机的风量控制等加以考虑。 ▲对于排气用的风管，特别要注意防止漏风
坑道通风		是一种在长大隧道、暗网状隧道等中常采用的通风方式，此方式不用风管，掘进中的隧道直接送气进行通风。要实施坑道通风换气，就需要入气口和出气口各自相互独立的两座隧道洞口等，其摘要受限制	○如果适当设置风门、风户的话，则会不漏风，可有效利用通风机风量。 ○由于通风断面大，故即使大风量，电力耗费也少。 ○由于隧道内整个区域都能通风，故污染空气滞留的范围小。 ○由于不需要风管，所以可降低费用。 ▲必须对隧道各部分进行适当的风量分配

注：○优点、●缺点、△中间、▲注意点。

148. 如何选择通风机风？

答：为满足所需的换气通风量，用下式求出通风管的压力损失和通风机的轴动力，在此基础上选择适宜的机种和所需的通风能

力的。

$$h = \frac{\lambda \gamma L}{2gD} v^2$$

$$v = \frac{Q}{15\pi D^2} = \frac{Q}{60A}$$

$$N = \frac{Qh}{6120}$$

上述式中：v——风管内的平均风速(m/s)；

A——风管的截面面积(m^2)；

Q——所需的通风换气量(m^3/min)；

h——压力损失(mmAq)；

λ——压力损失系数；

L——风管的长度(m)；

D——风管的直径(m)；

g——重力加速度(9.8m/s^2)；

γ——空气比重 (1.2kg/m^3)；

N——通风机的理论动力(kW)。

第三节　临时电气设备

149.临时电气设备计划有哪些要点?

答:①洞内的电气设备要采用有余裕电容的适当设备。以备需增设计划外的电器和发生意料外的涌水的排水设备。

②洞内动力线一般是3相3线220V;作为照明希望设置对地电压为100V的单相3线200V或者是单相2线100V。电线尽量用耐火电线。

③有可燃性气体存在、可能达到危险浓度的隧道,电气设备机器应使用防爆结构。

④变电设备、分电设备、电线等尽量设置在涌水和漏水少的位置。

⑤有斜井、竖井等隧道要确保有备用电源(发电机等)供异常用照明,但一般要将充电式异常用照明设置在机器避难场地、避难通道等地方。

150.临时电气设备移设有哪些事项需注意?

答:①洞内,一般水汽多,湿度也高,所以在安装高压设备时不能带电作业。另外,即使是低压设备,也要有计划地尽量不要带电作业。

②进行电气设备设置和移设作业前,要让作业人员都充分知道洞内的状况,特别注意与设置和移设作业无直接关系的重机车辆间有可能发生的接触和被夹、倾倒滚落及其他事故。

③停电作业中,要在开关、配电箱上用表示板表示正在作业或禁止通电,能上锁的要上锁。特别是高压作业中,在作业前要充分协调好作业程序和开关负责人等。

第十章　特殊工法

第一节　斜井、竖井、洞口施工

151.斜井由哪些部分组成?

答:斜井由井颈、井身及井底车场三部分组成。其轴线与隧道中线的平面交角宜大于40°,倾角应与提升方式相适应。井身不宜变坡,而在井底变坡处须用竖曲线过渡。斜井若分工副井时,其轴线宜平行设置,间距视地质条件确定,一般为20m。

斜井横断面有拱形和梯形两种,按轨道布置分二轨单道断面、三轨双道断面和四轨双道断面。断面净空尺寸,根据提升容器外形尺寸、载人车尺寸、管路布置、人行道宽度、施工机具的运行、设备之间的安全间距以及满足施工通风的要求等因素决定。

斜井内人行道的有效宽度不小于1.2m、高不少于1.8m,井设成台阶状。调车场和井身每隔30~50m需设避车洞(宽1m、高1.6~1.8m,深1~1.2m),以供人员躲避及临时存放工具、材料用。

斜井内的管线一般都敷设在人行道一侧,便于维修。当管路及电缆在同侧时,电缆线应在上方,不得将电缆直接挂在管路上;电缆架上也不得悬挂任何东西。电缆线悬吊地点间距不应大于3m。斜井内的照明线、动力电缆和信号线应分开敷设。照明灯距不应大于30m。

在斜井与隧道的连接部位布置井底车场,作为隧道与斜井联系的中转站。

152. 井底车场布置有哪些注意事项?

答:①平曲线半径的大小与车辆的轴距和列车长度有关,一般可按表 10-1 选取。

平、竖曲线半径选取表　　表 10-1

曲线类型	使用条件	曲线半径(m)
平曲线	一般斜井	12 ~ 15
	主提升井	15 ~ 20
竖曲线	一般斜井	20 ~ 25
	主提升井	25 ~ 30

②斗车挂钩车场的长度:一辆斗车不小于 2m;串连两辆以上不小于 4m。

③甩车场空、重车溜放坡度采用 1% ~ 1.5%。

④在摘挂钩地点设避车洞,并兼作信号间。

⑤车场设水泵房时,其底板应比车场高 0.5m,以免水淹。

153. 斜井井口车场如何布置?

答:斜井的井口车场布置,要因地制宜,利用地形满足提升设备的安装要求,要以便于弃碴、供料为原则。井口车场布置形式因提升方式而异,常用的基本形式有:

①斗车斜井单钩提升井口甩车场,布置参见图 10-1;

$$L_1 = (l_1 + l_2 + l_3 + l_4)\cos\alpha$$

$$H_g = (l_1 + l_2 + l_3 + l_4)\sin\alpha - \frac{D_u}{2}$$

式中:L_1——井口到井架的距离(m);

H_g——井架高度(m);

l_1——缓冲距离(m),一般用 7 ~ 9m;

l_2——道岔连接长度(m),4 号道岔用 7m;

l_3——1 ~ 1.5 倍车组长度(m);

l_4——过卷距离(m),用 5～6m;

α——栈道倾角,一般用 6°～7°;

D_u——提升天轮直径(m)。

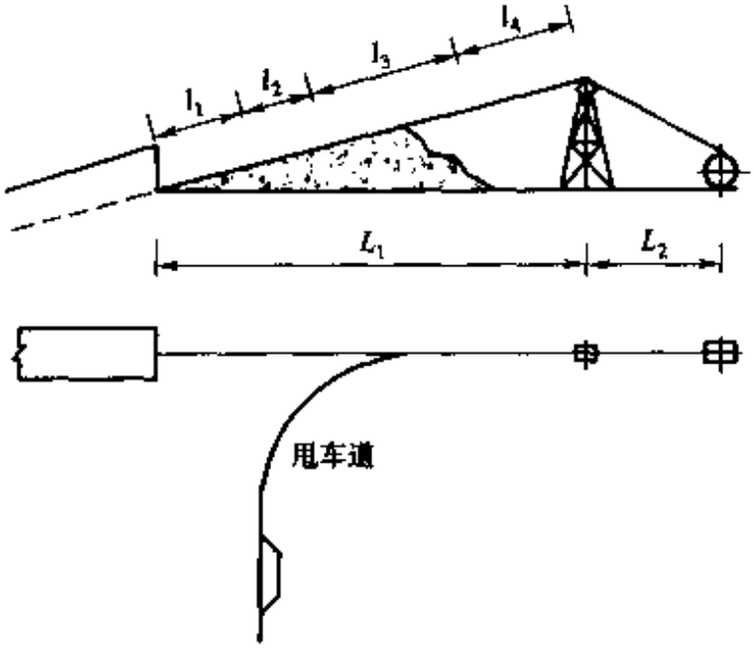


图 10-1　斗车斜井单钩提升井口甩车场

②斗车斜井双钩提升井口平车场,布置参见图 10-2。

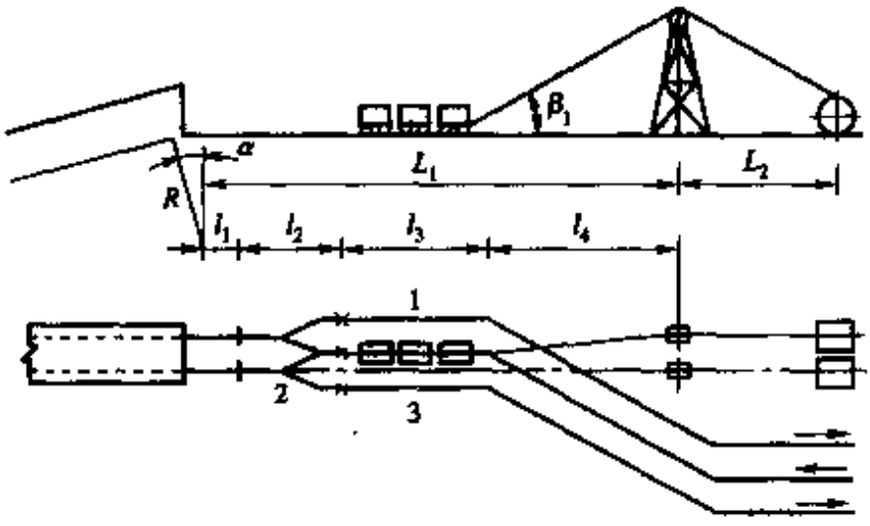


图 10-2　斗车斜井双钩提升井口平车场

1、3-重车运行线;2-空车停放线。

$$L_1 = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$

式中:l_1——井口竖曲线终点至道岔起点的长度(m),一般取一个

斗车长约 2m；

l_2——道岔长度(m)；

l_3——1～1.5 倍车组长度(m)；

l_4——根据井口线路的平面布置确定，以井架脚不妨碍斗车通过为原则(m)。

井架高度应满足钢丝绳牵引角 $\alpha \leqslant 9° \sim 10°$的要求，并便利斗车能在钢丝绳下面通过为准，根据场地轨道布置具体设计。

154. 斜井施工有哪些要点？

答：斜井施工以掘进、支护、运输三个环节为主，考虑通风、排水和安全方面的要求。

①斜井开挖其钻爆作业与导坑基本相同，其炮眼方向与斜井倾角一致，底板眼的倾角大于斜井倾角 3°～5°。当工作面积水不能完全排除时，为提高爆破效果，可将井身分为上部弧形、下部楔形爆破。通风排烟一般采用压入式。

②为保证施工安全起见，井颈段应做衬砌，井底车场部分净空较大及地质不良的井身地段应做局部加强支护。一般支护多采用喷锚混凝土，或复合式衬砌。

③喷射混凝土的施工布置有两种形式：一种是将喷射机固定在井口，用管道作远距离压风送料；一种是将喷射机安装在井筒中，在井口搅拌干料，用车辆将其运至喷射机。相比之下，以第一种布置为好，喷射机设在井口，不必随工作面前进而移动，而且避免了井内的污染和噪声。喷射机的工作风压，随输料距离增长而增大，在倾角为 25°～30°的斜井中，输料长度与工作风压的关系见表 10-2。

输料长度与工作风压的关系 表 10-2

输料长度(m)	0～100	100～200	200～300	300～400	400～500
工种风压(100kPa)	1.0～1.5	1.5～2.0	2.0～2.5	2.5～3.0	3.0～3.5

④如采用木支撑，其结构与导坑支撑基本相同，支撑立柱与重

力方向成一交角 β 倾向井底，倾斜度约为斜井倾角之半。支撑间距视地质条件而定，一般采用 1m，井口及井底变坡处要加密支撑。

⑤如若采用石砌或混凝土衬砌时，沿井身自下而上砌筑，在石质较差或斜井倾角大于 30°时，墙基做成台阶。

155. 斜井施工的安全设施有哪些？

答：①以井口为中心，在井口与井底之间和井口与绞车房之间，用声光信号联系，并安装直通电活，以随时掌握井上井下的运输情况。

②绞车应有深度指示器及防过卷装置，并在钢丝绳上设明显的深度标志。

③使用斗车的斜井在井口设阻车器，在井身及井底车场变坡点附近设挡车器，挡车器必须经常处于正位关闭状态，放车时方可打开。车辆本身设断绳保险装置以防跑车。

156. 竖井由哪些部分组成？

答：竖井一般由井颈（包括锁口）、井身和连接段（包括井底水窝与通道）三部分组成。井颈和连接段受力较大，一般均设置支护，井身视围岩稳定程度及地下水情况决定其支护类型及部位。

竖井横断面有圆形或矩形两种。当围岩压力较大时，宜选用圆形断面；当围岩稳定性好，井又不深时，则可选用矩形断面。竖井横断面一般布置有提升间、梯子间和管道间，其断面尺寸系根据提升容器尺寸、梯子间尺寸、管路数量以及设备间隙等因素，用图解法决定。

竖井梯子间的平面尺寸一般不小于 1.2m×1.3m，平台梯子孔长和宽分别不小于 0.7m 和 0.6m，梯子宽度不小于 0.4m，上下两层梯子平台的距离不大于 6m。梯子下端距井壁不小于 0.4m，梯子的阶间距离不大于 0.4m，梯子间与井筒提升间要严密隔开。

竖井管道间按管道数量、管端法兰盘的外径尺寸布置，并需留有安装、检修和更换管路的空间。设备最小间隙见表 10-3。

竖井设备最小间隙　　表 10-3

罐道类别	间隙部位	最小间隙(mm)	备注
钢木罐道	罐笼与井壁之间	200	
	两个罐笼之间	200	罐道间不设罐道梁
	罐笼与梁之间	150	不设罐道梁
钢丝绳罐道	罐笼与井壁之间	240～280	
	两个罐笼之间	300～350	
	吊桶与井壁之间	500	
	双吊桶的中间罐道绳之间	250+H/3	H 为井深(m)
	吊桶与管道之间	500	钢丝绳悬吊管道
固定钢梁及各项悬吊设备与井筒中心之间		100～200	单纯悬吊吊盘≤250mm
吊盘与井壁之间		≥100	

157. 竖井与隧道的连接及井底车场如何布设?

答:竖井与隧道的连接方式有垂直通道连接式和环形通道连接式两种。井底车场一般利用正洞布置存车线和调车线,经由联络通道与竖井连接。

图 10-3 为垂直通道连接式井底车场布置示例,联络通道与隧道中线垂直,为单向出车,进出车时间较长,但联络通道较短,工程量较小。

图 10-4 为环形通道连接式井底车场布置示例,罐笼出车线与隧道中线平行,为双向出车,进出车时间较短,但联络通道较长,工程量较大。

为了下放长材料,井筒与通道连接部位的高度较一般地段为高,采用渐变段过渡,如图 10-5 所示。

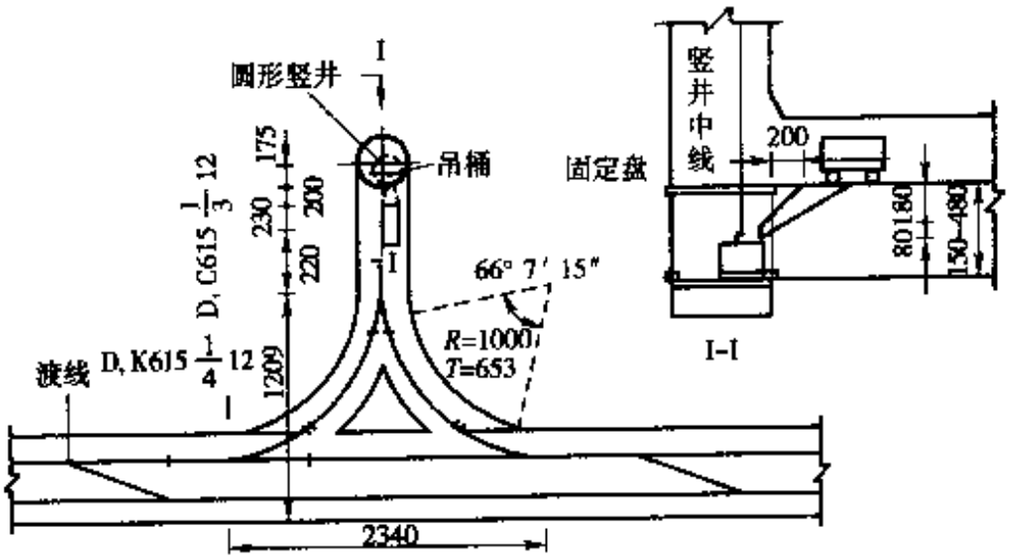


图 10-3　单吊桶竖井垂直通道连接式井底车场布置图

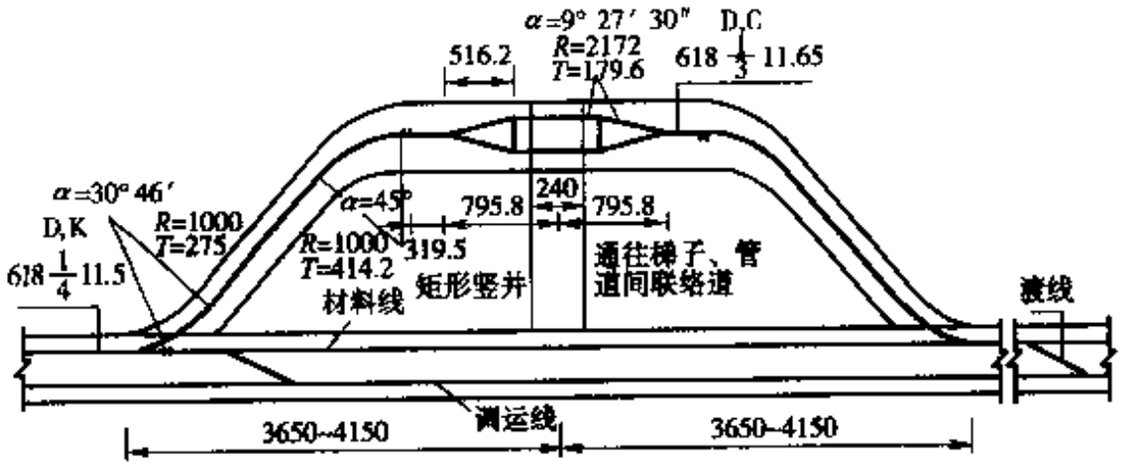


图 10-4　双罐笼竖井环形通道连接式井底车场布置图

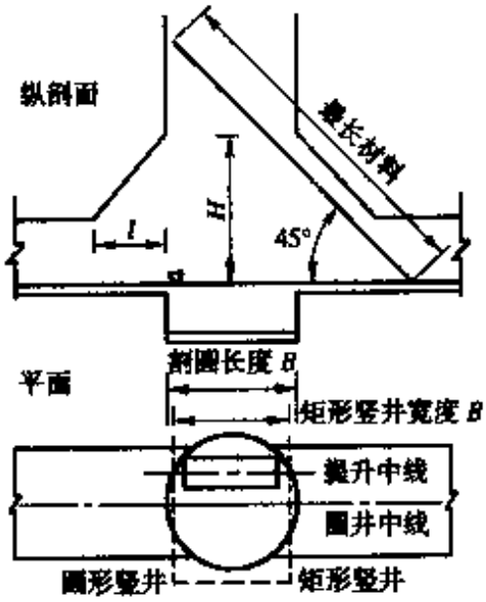


图 10-5　井筒与通道连接渐变段尺寸图

渐变段的长度 l(m):联络通道为拱形时,用 5m;为平顶时,用 4m。

渐变段的高度 H(m):

$$H = 0.7L - B$$

式中:L——下放最长材料的长度(m),一般按钢轨长 12.5m 计算;

B——圆形井筒的割切圆弦长,或矩形井筒出车方向的宽度(m)。

158.竖井施工有哪些特点?

答:竖井施工的特点是井筒断面小,大部分施工设备须利用井架或井臂悬挂,出碴、进料均为竖直运输,井筒开挖与支护不能平行作业,因此施工干扰大、条件差、进度慢。

①竖井开挖一般多采用分段开挖与支护交替进行的单行作业。每段开挖的高度,按支护方式决定,表 10-4 可供参考。

支护方式与开挖高度　　表 10-4

支护方式	木框架		混凝土		喷射混凝土
施工条件	围岩稳定	围岩较差	有临时支撑	无临时支撑	无临时支撑
开挖高度(m)	8~15	3~6	30~60	3~5	2~3

②在环形钻架上将多台气腿式凿岩机挂于钻架上,对井筒全断面上各种角度的炮眼施钻。使用环形钻架应注意:下井安装前,应进行地面预组装试验;环形钻架下放至所需高度后,利用套筒千斤顶固定于井壁,保持钻架水平对中;使用时作业面与环形钻架间、环形钻架与吊盘间应设安全软梯,供人员上下;钻眼结束,将环形钻架提升至适当的安全高度,防止爆破损坏环形钻架及机具、管路等。

③钻爆宜用直眼掏槽,可降低爆破抛掷高度,减少对井筒设备的损坏和便于多台凿岩机打眼。在有水地段,为了便于排水,宜采用立式梯台开挖超前掏槽。钻眼后经检查合格,立即用长约 50cm 的木楔将炮孔口临时堵塞,以免碴子落入孔中。竖井装药宜用把

几个药卷串在一起装入炮眼的串装法。禁止使用火雷管、导火索起爆。起爆雷管严格防水，起爆前要严格检查，以免出现瞎炮。通风排烟一般采用压入式和压入、吸出混合式管道通风。

④简易浅井或深井建井初期，40m 以内一般多用人力装碴。当井深超过 40m 时，则用机械装碴。用抓岩机装碴，一般先抓平高处碴堆，然后分层抓取。清底时，由于石碴厚度薄、块度大、基地硬，抓取石块时叶片容易打滑、左右摇摆，必须善于运用提升手柄定位，并随时调换抓岩机叶片位置，以防机体歪倒或叶片夹块漏碴。抓取井帮石碴时，如操作稍有疏忽，极易发生机体倾倒、歪斜及起重缸抽帮现象。必要时，尽量用人力扒出井帮石碴堆积一起，为抓岩机工作创造条件。

⑤喷混凝土井壁施工，工序简单、速度快、效率高，在井帮淋水不大时，宜优先采用。喷射机可设在井口搅拌机处，如将喷射机设在吊盘上，用吊桶或溜灰管送料时，井内设备布置较复杂，吊盘负荷加重，井内粉尘较大，工作条件较差。

⑥整体混凝土衬砌可先不出碴，将浮碴整平即可立模浇注。搅拌机设在井口，混凝土经漏斗、套管、输料管、缓冲器、活节溜灰筒输送到模板内。为防止混凝土产生离析和堵管现象，混凝土的水灰比不大于 0.65，坍落度用 8～12cm。为使灌注混凝土后能尽早进行爆破作业，混凝土内可掺速凝剂。

159. 竖井提升及悬吊设备如何计算选择？

答：竖井提升系统如图 10-6 所示。提升方式分单钩提升和双钩提升。选择提升方式主要根据隧道施工对提升能力的要求，并应考虑提升电能消耗和调绳方便等因素。用钢丝绳悬吊井内设备系统与提升系统近似。

①井架高度（H_1）

$$H_1 = h_1 + h_2 + h_3 + \frac{D_{天}}{4}$$

式中：h_1——井口卸碴台高度，吊桶提升 $h_1 = 5 \sim 6$m，罐笼提升 $h_1 = 0$；

h_2——提升容器及连接装置总高(m)；

h_3——过卷高度(m)，提升速度≤3m/s 时，$h_3 \geq 4$m；提升速度 > 3m/s 时，$h_3 \geq 6$m；

$D_{天}$——天轮直径(m)。

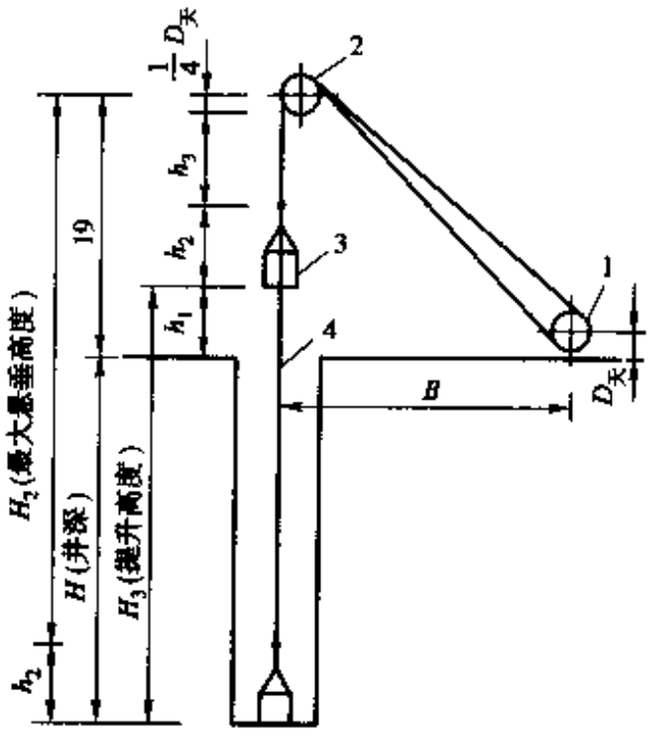


图 10-6　竖井提升系统

1-绞车；2-天轮；3-提升容器；4-钢丝绳

②一次提升时间(t)

$$t = t_1 + t_2$$

式中：t_1———一次提升运行时间(s)，见表 10-5；

t_2———一次提升辅助时间(s)，见表 10-5。

一次提升时间计算公式表　　表 10-5

提升设备	双钩提升		单钩提升	
吊桶提升	$t_1 = 4\sqrt{H_4} + \frac{2H_5}{v}$	t_2 用 140～160s	$t_1 = 8\sqrt{H_4} + \frac{2H_5}{v}$	t_2 用 120～140s
罐笼提升	$t_1 = \frac{H_3}{v_{最大}/\alpha}$	t_2 双面进出车用 15s；单面进出车用 30s	$t_1 = \frac{2H_3}{v_{最大}/\alpha}$	t_2 双面进出车用 30s；单面进出车用 60s

注：H_3——提升高度(m)；

H_4——有稳绳的提升高度(m)；

H_5——无稳绳的提升高度(m)；

a ——速度系数，用 1.2；

v——无稳绳的提升速度，用 1～2m/s；

$v_{最大}$——最大提升速度(m/s)，按表 10-6 选用。

竖井最大提升速度 表 10-6

升降条件 / 竖井深度(m)	$v_{最大}$(m/s) 罐笼	$v_{最大}$(m/s) 吊桶	备注
<40	2	0.75	无导向设备
40～100	3	1.50	沿导向设备
>100	6	3.00	沿导向设备

③提升容器的容积(V)(见表 10-7)

一次提升容器的容积计算公式表 表 10-7

提升设备	双钩提升	单钩提升	备注
吊桶提升	$V=\frac{Pt}{3600k_1}$	$V=\frac{Pt}{1800k_1}$	吊桶的容积，按装碴生产能力 $P(m^3/h)$选定
罐笼提升	$V=\frac{k_2tV_1}{3600k_1T}$	$V=\frac{k_2tV_1}{1800k_1T}$	罐笼的斗车容积，按隧道每班出碴量 $V_1(m^3)$选定

注：k_1——容器装满系数，用 0.9～0.95；

k_2——提升不均匀系数，用 1.2～1.25；

T——隧道每班出碴时间，按三班制，每班 5h；

t——一次提升时间(s)，见前述公式。

④钢丝绳的单位长度质量(P_k)(见表 10-8)

钢丝绳的单位长度质量计算公式表 表 10-8

提升钢丝绳(kg/m)	悬吊钢丝绳(kg/m)	罐道钢丝绳(kg/m)
$P_k=\frac{Q_1+Q_2}{\frac{110\sigma}{m}-H_2}$	$P_k=\frac{Q_{悬}}{\frac{110\sigma}{m}-H_2}$	$P_k=\frac{Q_{拉}}{\frac{110\sigma}{m}-H_2}$

注：Q_1——提升容器及连接装置的自重(kg)；

Q_2——提升容器的有效载重(kg)；

$Q_{悬}$——悬吊物的自重和载重(kg)；

$Q_{拉}$——罐道的拉紧力，井深每 100m 按 1.1～1.6t 计；

H_2——钢丝绳的悬垂高度(m)；

σ——钢丝绳公称抗拉强度，1550～1700MPa；

m——安全系数，提升人用 9，提升物用 6.5，悬吊吊盘、吊泵用 6，悬吊管路用 5，悬吊安全梯用 9，拉紧罐道绳用 6。

根据 P_k 计算值，选用相应的钢丝绳直径，由于罐道钢丝绳长期运行有磨损，应考虑保证罐道刚度，一般可选用 6×7 的钢丝绳，且其直径不小于 20.5mm 为宜。

⑤天轮直径($D_{天}$)(见表 10-9)

天轮直径计算公式表 表 10-9

提升大轮(mm)	悬吊天轮(mm)	提升天轮(mm)	悬吊天轮(mm)
$D_{大}=60\sim80d_{绳}$	$D_{悬}=20\sim30d_{绳}$	$D_{天}=900\sim1200d_{丝}$	$D_{悬}=300\sim450d_{丝}$

注：$d_{绳}$——钢丝绳直径(mm)；

$d_{丝}$——钢丝绳钢丝的直径(mm)。

⑥绞车卷筒直径($D_{卷}$)和卷筒宽度(B)

提升绞车卷筒直径($D_{卷}$)按天轮直径($D_{天}$)公式计算。

卷筒宽度(B)单层缠绕

$$B=\left(\frac{H_3+l}{\pi D_{卷}}+3\right)(d_{绳}+\varepsilon)$$

卷筒宽度(B)多层缠绕

$$B=\left(\frac{H_3+l+(3+4)\pi D_{卷}}{\eta\pi D_{平均}}\right)(d_{绳}+\varepsilon)$$

式中：H_3——提升高度(m)；

l——钢丝绳试验的备用长度，用 30～40m；

3——摩擦圈数；

4——每两个月移动 1/4 周的备用圈数；

$D_{卷}$——卷筒直径(m)；

η——钢丝绳缠绕层数；

$d_{绳}$——钢丝绳直径(mm)；

ε——绳周间隙,用 2 ~ 3mm;

$D_{平均}$——平均缠绕直径(m),$D_{平均} = D_{卷} + (\eta + 1)d_{绳}$。

⑦绞车电动机功率(N)(见表 10-10)。

绞车电动机功率计算公式表 表 10-10

提升方式	电动机功率	静张力
单钩提升	$N = \frac{K_{备} F_{最大} v_{最大}}{102\eta\alpha}\rho$	$F_{最大} = Q_1 + Q_2 + p_k H_2$
双钩提升	$N = \frac{K_{备} F_{差} v_{最大}}{102\eta\alpha}\rho$	$F_{差} = Q_2 + p_k H_3$

注:$K_{备}$——电动机功率备用系数,取 1.2;

η——传动效率,取 0.85;

ρ——动力系数,取 1.4;

$v_{最大}$——最大提升速度(m/s),按表 10-6 选用;

α——速度系数,用 1.2;

$F_{最大}$——最大静张力;

$F_{差}$——静张力差。

其他符号意义同前。

160. 竖井施工应有哪些安全设施?

答:①竖井信号设施主要有电铃和色灯信号两种,同时加设专用电话。信号系统以井口为中心,在井口设总信号显示,在井口与井底之间和井口与提升机房之间分别设信号电缆及装置,用铃声、色灯、电话联系井上井下的作业。凿井时在吊盘上加设信号机。一般情况下井内信号不得直接向提升机房发送信号,必须经井口信号员转发至提升机房。

②提升装置应有深度指示器与防过卷装置。必要时,在深度指示器和井架上设终端开关。当提升器超过正常卸载位置 50cm 时,必须能自动断电和使保险闸发生作用。

③通向竖井的井开轨道设阻车器,防止车辆坠入井内。

④电葫芦或绞车必须配有限位器、限速器,防止过卷伤人、

翻车。

⑤罐笼提升时，罐顶应设铁盖，罐底必须满铺钢板并不得有孔洞，如罐底下面有阻车器的连接装置时，必须设有牢固的检查门。在井口也需设置安全栅栏或安全门。

⑥若采用临时罐笼双钩单绳提升时，必须采用相同捻向的钢丝绳，以防两罐笼运行时，由于相对的扭转位移而发生撞罐事故。也可根据国标选用特制的不旋转钢丝绳。

⑦竖井井架大轮棚需加装避雷针装置，利用钢井架角柱作为引厂线，为了接地安全可靠，引厂线共设置两条。同时，防雷装置接地电阻不应超过 10Ω，若实测超过此值，应增加接地极。

161. 洞口施工计划的实施有哪些原则？

答：①现场进行详细调查洞口部的地形、地质、地下水、降雨等条件，充分研究在施工时发生滑坡、斜面崩坍、偏土压、地表下沉等的可能性。

②现场核对设计图纸，发现并提出问题点，按照需要进行追加地质钻孔等调查，在取得可靠数据的基础上，制定出施工计划。

③选择恰当的施工方法，尽量做到少扰动周边围岩、确保掌子面自稳、适应地层的地基承载力、适应洞口部以内的施工。

162. 洞口施工有哪些施工方法？

答：①按掘进方向区分：从隧道外向里掘进，称为进洞法；从隧道内向外开挖，称为出洞法；导洞进洞后向洞口扩挖，称为回头法；小断面开挖进洞后跟扩挖，称为台阶进洞法。

②按预先构筑洞口区分：预先构筑明洞的方法；预先构筑洞门墙的方法；预先构筑超前支护的方法；实施了几个对策后筑洞口的方法。

③按超前开挖或开挖断面形状区分：侧壁导坑方式；上弧导坑方式；上半部断面方式；全断面方式等。

隧道入口的地形、地质极不稳定的场合，采用回头法认为是安

全的，在以往常有采用。但现在由于掘进机械的大型化、洞口辅助施工法的进步等，现在采用此法的实例也少。最近为了解决洞口附近的防噪声问题，决定在工程上最后进行洞口开挖，也有从洞内进行扩挖的实例。

163. 保证洞口施工安全的对策有哪些？

答：①平衡压重填土。当洞口部的开挖有可能引起滑坡等危险时，采用对地层斜坡面附近进行填土，增加抵抗土压力而力求洞口斜坡面的稳定。

②垂直加固锚杆。在隧道开挖前，先用长锚杆插入隧道洞口上部，用水泥砂浆固定，力求防止地层崩坏或拱顶下沉。

③管棚。在隧道开挖之前，沿隧道外周插入钢管等以形成隧道顶盖，使其减少拱顶位移，从面谋求掌子面的稳定。

④注浆加固。为达到洞口部斜坡面的稳定处理、加强掌子面的自稳能力和止水等目的，进行灌注水泥、高分子药液等。

⑤抗滑桩。作为滑坡的抗滑桩，有深基础桩、贝诺特钻孔（灌注）桩、钢管桩和 H 钢桩等。

164. 洞口段施工要点有哪些？

答：①洞口段施工时，应将洞口上方有崩塌之虑的表土、树木、浮动的岩石等尽量清除。在不能完全清除掉的场合，有必要采取加固基础、挡墙、防落石棚等措施。

②洞口周围的地表水和渗透水要尽量排除，洞口周围的水道事先要进行迂回改道，还必须采取限制洞口斜坡上的雨水渗透或流下的措施。

③除坚硬地层清形外，洞口段必须用简单而安全的施工方法尽早开挖，用能充分承担隧道轴向荷载及偏压的刚性支撑将开挖断面全周早期闭合，尽量抑制围岩松动。衬砌也不要等待围岩位移收敛，而要尽可能快地施工。

④洞口段施工时期最好避开降雨期和融雪期。

⑤洞口段施工时，应进行洞口周围围岩的移动、下沉及邻近建筑物变形的观察和量测，尽量做到早期发现异常情况。

⑥洞口周围发生异常情况时，应立即采取应急措施。发生的事故与预计相同时，应立即中止开挖，进行掌子面支撑及加强支撑，强化观察、量测，并采取必要的措施，如：用土袋、石笼等在山上加压；处理雨水、径流水、地下水；清除浮石、防落石棚、组编栏栅；紧急回填；限制道路交通。

第二节　特殊施工方法

165. 稳定掌子面的对策有哪些？

答：掌子面不稳定是指开挖后到支护施工结束前的一段时间内掌子面及围岩不能自稳。需采取稳定对策使之稳定，可分为掌子面和拱顶的稳定对策、上半部围岩的支承力对策、涌水对策等。表 10-11 为代表性的掌子面稳定施工法的概要。

代表性的掌子面稳定对策　　表 10-11

目的	对策		地质条件			概要
			硬岩	软岩	土沙	
拱顶稳定	前钻（$L \leqslant 5m$）	充填式	○	●	○	由掌子面向前，沿拱部外周打设锚杆、单管、钢插板等，有充填式和积极改善地层的注入式
		注入式	○	●	●	
	前钻（$L > 5m$）			○	○	由掌子面向前，沿拱部外周用双层管打设钢管，压注水泥浆。包括钻孔机械造成的管棚等
	斜锚杆			○	○	环形开挖，锚杆上斜向打设，发挥预支效果

续上表

目的	对策		地质条件			概要
			硬岩	软岩	土沙	
掌子面稳定	掌子面喷混凝土			●	●	对掌子面喷射混凝土，充分对掌子面进行排水
	掌子面锚杆			○	○	向掌子面打设锚杆，加固前方地层
	开挖断面分割			○	●	缩小开挖截面积，如中留核心或环形开挖
	垂直搭接板桩			○	○	由地表垂直钻孔，插入钢筋，砂浆等进行固化
上半断面支持力	扩大支护脚部的支承面积(翼肋)			○	●	加强钢拱的脚部和加厚喷混凝土的脚部
	脚部加强锚杆(板桩)			○	○	于支护脚部下方打设锚杆和板桩，以增强支力
	临时闭合			○	○	对上半部或仰拱部喷射混凝土，以防止变形
涌水	药液注浆		○	○	○	向地层注入药液，减少涌水量
	排水	排水孔	●	○	○	排水钻孔、排水坑为自然流下方式与深井、井点等为强制排水方式。施工方法的选择要根据覆盖厚度、地质条件等方面来进行
		排水钻孔	●	●	●	
		排水坑	○	○		
		深井			○	
		井点法			○	

注：●为使用较好的施工法；○为因场合不同而使用的施工法。

166.松散地层隧道施工有何方法?

答:松散地层的特点是:结构松散,稳定性差,若有地下水时则更甚。在施工中极易发生坍塌。在这类地层中施工隧道,主要是减少对围岩的扰动,其常用的施工手段有:先护后挖,边挖边封闭。目前采用的施工方法有:

①超前支护法。隧道开挖前,先向岩体内插入钎、管、板等构件,用以预先支护围岩、防止坑道掘进时岩体发生坍塌。

②注浆加固法。通过注浆加固是将松散地层固结为整体,再进行开挖。在砂夹砾石、粗砂且有侵蚀性水的地层中,采用水泥砂浆压注;在粉、细砂地层或有侵蚀性水时,可压注化学浆液。注浆加固时,先沿开挖断面周边布置压浆孔,其间距视围岩松散情况为0.6~0.8m。压浆后要求在开挖断面外能有约0.1m厚的加固层。

③震松法。在稍有粘结力的堆积层中,每次爆破都根据地质的变化和前一茬炮爆破的效果,调整炮眼分布和装药数量,必要时还可采取辅助措施,以减小爆破对围岩的扰动,达到不抛掷石碴而经震动松落成型之目的。

167.在松散地层中如何用超前支护法施工?

答:超前支护法的基本工序如下:

①对新开挖面结合出碴进行初次喷射混凝土,喷层厚度一般为3~6cm;

②架立钢架支撑,并做好纵向联结支撑;

③第一次测量,标出结构锚杆、超前锚杆或超前钢管等孔的位置,并核对巷道净空;

④钻孔,插锚杆或钢管;

⑤挂钢筋网,焊接钢筋网、锚杆或钢管外露端、横向短钢筋、钢架支撑之相接处;

⑥清除工作面底部附近的浮碴;

⑦第二次喷射混凝土,喷至设计厚度;

⑧第二次测量，在开挖面画出下次开挖轮廓线，并标出炮眼位置；

⑨钻炮眼，装药，堵炮眼及爆破。

超前支护法的开挖大多采用下列方法：

①先护顶，后做墙。在超前支护的保护下先开挖上半部，随即进行喷锚等支护，然后再开挖下半部。

②分层开挖。最上面的分层设为主台阶层，其超前长度视地质情况确定，一般选用 35～50m。主台阶层至顶部的开挖高度受施工机械要求所限制，可定为 6.5m。如若遇地质条件很不好，需减小其开挖高度时，则可增加开挖层数。

③拱部环状开挖，留倒梯形核心土，用于极为软弱或破碎的地层。其优点：可减小人工开挖面积；利于顶部围岩和工作面的自稳；提供初期支护平台，便于架设钢架支撑、挂网和喷射混凝土；可在出碴量较少的情况下及时进行支护，缩短了围岩的暴露时间。缺点是：无法及时安装径向锚杆，推迟了锚固工作；人工出碴距离较长。

超前支护法的施工注意事项：

①当遇砂、软土等过于松软的地层，应慎重选择支护方法及其参数，以免造成支护失效。

②悬吊锚杆和结构锚杆均应保证施工质量，并将各种锚杆（钢管）末端焊接牢固。

③应保证钢拱的架设质量及拱脚处的地基有足够的承载能力。

④注浆锚杆的砂浆应达到设计强度后方可进行爆破。

⑤合理运用微震动爆破，以免引起围岩过大的扰动和破坏。

⑥喷锚支护既要及时，又要保证质量。

⑦当采用半断面掘进时，掘进长度不大于 2 倍洞径时就应施作临时工字钢底梁，使底梁与钢拱脚顶紧；若地压大时采取焊接后，再喷射 20cm 厚的混凝土。待下部开挖施作正式仰拱后再拆除。

⑧及时检查、量测，对有异状或变形量较大处进行加固。

168.如何控制注浆加固法的注浆数量？

答：注浆数量控制：多采用定压和定量相结合的方法，其注浆数量及注浆压力基本是固定的，它是按需填充的孔隙量选定，以所处理围岩总体积的百分数表示。在砂层可高达40%，而裂隙岩体则仅5%。注浆率（N）具体计算公式如下：

$$N = \frac{Q}{A} = \eta \times \alpha$$

式中：Q——注浆总数量（m^3）；

A——围岩加固的体积（m^3）；

η——围岩加固的孔隙率（%），参见表10-12；

α——经实践采用的填充率（%），参见表10-12。

围岩孔隙率及注浆填充率 表10-12

土质		卵石	粘土	粉砂	砂					砂砾		
注浆目的		堵水加固			堵水			加固		堵水		
孔隙率（%）	范围值	65～75	50～70	40～60	46～50	40～48	30～40	46～50	40～48	40～60	38～40	22～40
	标准值	70	60	50	48	44	35	48	44	50	34	26
填充率（%）	约束	40	30	20	60	60	50	50	40	60	60	60

为了做好预注浆工作，必须事先对需加固围岩进行土力学试验，查看围岩透水系数，土颗粒组成、孔隙率、饱和度、密度、pH值、剪切和抗压强度等，必要时还要做现场注水和抽水试验。

169.震松法施工有哪些辅助措施和注意事项？

答：震松法对围岩扰动小，在堆积层中适用大型机械设备进行全断面开挖，从而在加快工程进度、降低劳动强度、减少炸药、改善通风条件、节省支护与衬砌材料、降低工程造价等方面都具有优越性。但在特殊地质应用时往往不尽完善，还需一些辅助手段。

①正洞施工为浅埋段，可减小开挖面积，一次进尺控制在 1m 左右；周边眼布置在设计开挖轮廓线内 1m，采用楔形掏槽，连续装药结构，单位耗药量以 0.30～0.35kg。支护紧跟掌子面。

②坑道周边遇到大孤石时，则需配合"插筋支架法"，即在孤石上打若干深孔，插入长 3m 的 φ22mm 钢筋，钢筋的另一端支承在钢架支撑上，起挑梁的作用；再在其下打上若干深 1.2m 的炮眼，装少量炸药进行引爆，可避免爆破后，因大孤石震落面形成局部超挖过大或发生坍塌。

③当坑道周边遇有粘土层时，则需采用局部"周边隔空装药法"、"轮廓线钻眼法"加以处理，即在设计开挖轮廓线上布间距 0.5m的空孔，再在其内侧布间距 0.4m 炮孔。起爆后，利用爆破的振动和土体自重，开挖出平滑的轮廓线。

震松法施工注意事项：

①爆破参数需由现场开挖试验坑确定。

②推行专人负责制，指派一名爆破技术人员或熟练炮工负责指挥布孔及钻爆等作业。

③钻孔台车就位应保证炮眼方向和深度符合钻爆要求。

④严格控制台车钻眼的用水量，以减轻对地层的软化作用。

⑤喷混凝土、挂钢筋网、立钢架支撑等项工序应环环紧扣，并确保质量。

⑥注意围岩变形和浅埋地段的地表下沉观测工作，并将量测数据及时整理、分析，反馈于施工监控人员。

170.松散围岩分部开挖有几种施工方法？

答：当遇到松散破碎地层时，隧道施工多采用导坑领先的先拱后墙法或侧壁导坑超前的先墙后拱法。根据围岩的松散程度、颗粒组成及自稳情况，在拱部施工常选用以下几种超前支护方法：

①插钎法。适用于粒径较大的石块、碎石堆积层，或有粘砂土充填而胶结为中等密实的漂卵石地层。导坑开挖时，用风锤或人力将 2m 左右长的钢钎成短钢轨（入土一端锻尖），沿最前一排支

撑上缘向工作面打入，方向略向上斜。其间距可根据具体地质情况而定。

②插板法。适用于石屑堆积、砂层或软塑地层。一般用宽0.1m左右、长0.8～1.0m的木板，前端劈尖，板与板间应相互抵紧或适当错搭，在横梁上的上下两块板间，以木楔楔紧。工作面设置护板，开挖时由上而下拆除，向前掘进。

③钻钎法。当遇颗粒大小不均，小者粒径几厘米，大者可达150cm，且无粘结物充填的漂卵石地层，极度松散，开挖时一触即坍。若采用一般插钎法，打入极端困难而且不易掌握方向，达不到护顶目的时，可运用钻钎护顶，不仅穿入地层速度较快，而且易于控制钻钎位置和方向。

分部开挖的施工顺序：

①上导坑先拱后墙法。起拱线以上用上导坑及分部扩大进行开挖，边挖边支撑，分段灌注拱圈。起拱线以下用挖井法开挖边墙部位及灌注边墙；也可用短段拉中槽加背板和横撑的方法，分段施工边墙，并随即做好仰拱。

②侧壁导坑先墙后拱法施工。起拱线以下用侧壁导坑开挖，边挖边支撑，分段灌注两侧边墙。起拱线以上用上导坑及分部扩大开挖及灌注拱圈。分段挖除中间核心土、随即做好仰拱。

171.松散围岩分部开挖需注意哪些事项？

答：①上导坑与扩大之间的距离应尽量缩短，拱部衬砌要紧跟。

②在松散的碎石或砂层中开挖时，应准备草束或麻袋，随时堵塞缝隙，以免漏砂造成空洞，引起坍塌。

③扩大后，灌拱前，拱脚基础应根据松散地层的承载能力分别采用夯实、垫木板，在拱脚部位向围岩打入横向钢钎或短钢轨、注浆加固等法加固，以防止开挖马口时发生坍塌。

④用挖井法施工边墙时，井身断面尺寸，应以灌注2m边墙为宜。井身及井口使用框架支撑撑紧。边墙拆模后，边墙脚与未挖

核心土之间亦应以支撑撑紧或进行回填，以后随核心土一起挖掉。

⑤支撑架设应预留沉落量。

⑥衬砌应隔适当距离设置沉降缝。

⑦不论松散地层中有无水，衬砌断面封闭后，均应向衬砌背后（包括仰拱下）压注水泥砂浆加固。

⑧当在有地下水的砂层中施工时，挖底后仰拱未灌注混凝土前，为了防止流砂上翻，可进行抛压片石或以木板封闭（在两侧边墙脚处可打钢轨桩或锚杆），再分段砌筑仰拱。

172. 断层隧道段如何施工？

答：穿过断层的隧道施工难度取决于断层的性质、破碎带的宽度、填充物、含水性和断层本身的活动性以及隧道轴线和断层构造线方向的组合关系。当隧道轴线接近于垂直构造线方向时，断层规模较小，破碎带不宽，且含水量较小时，条件比较有利，可随挖随撑。但当隧道轴线斜交或者平行于构造方向时，则隧道穿过破碎带的长度增大，并有强大侧压力，应加强边墙衬砌，及时封闭。

施工前探明断层地带情况，切实掌握所遇断层带的所有情况，可采用下列方法：

①隧道一侧或两侧开挖调查导坑，利用调查导坑详细测绘地质状况。

②平行导坑超前于正洞，预先了解正洞断层的实际地质情况，并有利于排水。

③超前水平钻孔、地质雷达预报，根据钻孔岩芯、涌水压力，结合地质雷达探测的岩体波速分布，推断前方断层地质情况。

根据探明的断层地带情况和有关施工技术与机具设备条件、进度要求、材料供给等，慎重选择通过断层地段的施工方法。一般的施工方法有：

①当断层带内充填软塑状的断层泥或特别松散的颗粒时，比照松散地层中的分部开挖法施工。

②如断层地段出现大量涌水、岩体破碎而未胶结，隧道凿通断

层可能引起泥石流涌入。宜采取掌子面钻孔帷幕注浆，在断层破碎带中一定范围形成注浆加固圈，根据注浆加固的效果再确定开挖方法。

③断层地段为胶接不良的破碎岩块，比照松散地层中的超前支护法施工。

173.断层隧道段施工作业应注意哪些事项？

答：①地表水补给断层带地下水时，应在地表设置截排系统引排。如断层水为承压水，每个掘进循环中向前进方向钻凿不少于3个超前钻孔，其深度宜在4m以上，以探明地下水的情况。

②随掌子面向前推进挖好排水沟，必要时加以铺砌。对于反坡掘进，应准备足够的抽水设备，并安排适当的集水坑。

③坑壁或坑顶有水流出时，应凿眼安置套管集中引排，使其不漫流。

④各工序之间的距离宜尽量缩短，并尽快地使全断面衬砌封闭，以减少岩层的暴露、松动和地压增大。

⑤当采用分部开挖法施工，导坑不宜超前过多，掘进后随即将导坑予以临时衬砌闭合。

⑥采用爆破法掘进时，应严格掌握炮眼数量、深度及装药量，尽量减小爆破对围岩的震动。

⑦采用分部开挖法时，其下部开挖宜左右两侧交替作业。如遇两侧软硬不同时，应用偏槽法开挖，按先软后硬顺序交错进行。当拱圈封顶后应立即设置拱脚卡口梁，并应以木楔切实塞紧。

⑧支护宁强勿弱，并应经常检查加固。

⑨开挖面要立即喷射一层混凝土，并架设有足够强度的钢架支撑。

174.遇溶洞隧道怎样施工？

答：在可溶性岩层中修筑隧道，可能遇到：

①溶洞位于隧道底部，充填物松软且深，隧道基底难于处理；

②溶洞岩质破碎，容易发生坍塌；

③大的水囊或暗河的岩溶水或泥砂夹水大量涌入隧道；

④坑道掘进至填满饱含水分的充填物溶槽边缘，含水充填物不断涌入坑道，难以遏止，甚至地表开裂下沉，山体压力剧增；

⑤有的溶洞、暗河迂回交错、分支错综复杂、范围宽广，处理十分困难。

隧道在溶洞地段施工时，应根据设计文件有关资料及现场实际，查明溶洞分布范围、类型情况(大小、有无水，溶洞是否在发育中，以及其充填物)、岩层的稳定程度和地下水流情况(有无长期补给来源、雨季水量有无增长)等，分别以引、堵、越、绕等措施进行处理。处理措施分述如下：

①当暗河和溶洞有水流时，查明水源流向及其与隧道位置的关系，用暗管、涵洞、小桥、泄水洞等设施，宣泄水流或将水排出洞外。

②当水流的位置在隧道上部或高于隧道时，应在适当距离外，开凿引水斜洞(或引水槽)将水位降低到隧道底部位置以下，再行引排。

③对已停止发育、跨径较小、无水的溶洞，可根据其与隧道相交的位置及其充填情况，采用混凝土、浆砌片石或干砌片石予以回填封闭，根据地质情况决定是否需要加深边墙基础。

④拱以上空溶洞，可视溶洞的岩石破碎程度采用喷锚支护加固，或加设护拱及拱顶回填的办法处理。

⑤当溶洞较大较深，可采用梁、拱跨越。但梁端或拱座应置于稳固可靠的基岩上，必要时用圬工加固。

⑥当隧道一侧遇到狭长而较深的溶洞，可加深该侧的边墙基础通过。

⑦当隧道底部遇有较大溶洞并有流水时，可在隧底以下砌筑浆砌片石支墙，支承隧道结构，并在支墙内套设涵管引排溶洞水。

⑧当隧道边墙部位遇到较大、较深的溶洞，不宜加深边墙基础时，可在边墙部位或隧底以下筑拱跨过。

⑨当隧道中部及底部遇有深狭的溶洞时，可加强两边墙基础，并根据情况设置桥台架梁通过。

⑩溶洞上大下小，且有部分充填物时，可将隧道顶部的充填物清除，然后在隧道底部标高以下设置钢筋混凝土横梁及纵梁，横梁两端嵌入岩层。

175. 岩溶地段隧道施工有哪些注意事项？

答：①施工前应对地表进行详细勘查，注意研究岩溶状态，估计可能遇到溶洞的地段。

②了解地表水、出水地点的情况，并对地表进行必要的处理，以防止地表水下渗。

③当施工达到溶洞边缘，各工序应紧密衔接。应将滞后工序赶前，迅速将支护、衬砌做到适当地段。同时设法探明溶洞的形状、范围、大小、充填物及地下水等情况，据以制定施工处理方案及安全措施。

④当在下坡地段遇到溶洞时，应准备足够数量的排水设备。

⑤施工中注意检查溶洞顶板，及时处理危石。当溶洞较大、较高时，应设置施工防护架或钢筋防护网。

⑥在溶蚀地段的爆破作业，应尽量做到多打眼、打浅眼，并控制药量。

⑦在溶洞充填体中掘进，如充填物松软，可用超前支护法施工；如充填物为极松散的砾、块石堆积或有水，可于开挖前采取预注浆加固。

⑧溶洞未做出处理方案前，不要将弃碴随意倾填于溶洞中。

⑨处理情况复杂的溶洞，要根据现场具体情况制定安全措施，以确保施工安全。

176. 黄土隧道施工受到哪些不利影响？

答：①受黄土节理的影响。在隧道开挖时，土体容易顺着节理张松或剪断。如果这种地层位于坑道顶部，则极易产生"塌顶"；如

果位于侧壁，则普遍出现侧壁掉土，若施工时处理不当，常会引起较大的坍塌。

②受黄土冲沟地段的影响。当隧道在较长的范围内沿着冲沟或塬边平行走向，而覆盖较薄或偏压很大的情况下，容易发生较大的坍塌或滑坡现象。

③受黄土溶洞与陷穴的影响。隧道若修建在黄土溶洞与陷穴上方，则有基础下沉的危害；隧道若修建在其下方，常有发生冒顶的危险；隧道若修建在其邻侧，则有可能承受偏压。

④受地下水的影响。在含有地下水的黄土层中修建隧道，当土体受水浸湿后，呈不同程度的湿陷性，会发生突然下沉现象，使开挖后的围岩迅速丧失自稳能力，如支护措施满足不了变化后的情况，极易造成坍塌。如施工中洞内排水不良，洞内道路会形成泥浆浮层，而且越陷越深，不论是无轨还是有轨运输都会给道路的维修养护、机械的使用与保养、隧道的铺底或仰拱施工作业等带来很大的困难。

177.黄土隧道施工要注意哪些事项？

答：①首先做好洞顶、洞门及洞口的防排水系统，并妥善处理好陷穴、裂缝，以免地面积水浸蚀洞体周围，造成土体坍塌。

②在含有地下水的黄土层中施工时，洞内排水沟应进行铺砌，必要时应配合井点降水等法将地下水位降至隧道衬砌底部以下，以保施工顺利进行。

③在干燥无水的黄土层中施工，应管理好施工用水，不使废水漫流。

④如发现工作面有失稳现象，应及时用喷混凝土封闭、加设锚杆、架立钢支撑等加强支护。

⑤施工时要特别注意拱脚与墙脚处断面，如超挖过大，应用浆砌片石回填。如发现该处土体承载力不够，应立即加设锚杆或采取其他措施进行加固。

⑥在开挖与灌筑仰拱前，为防止边墙向内位移，宜加设横梁顶

紧。

⑦喷射机所用的压力，一般以不超过0.2MPa为宜。

⑧若拱部位于砂层时，为防止喷混凝土层塌落，可用φ4mm的密钢丝网紧贴开挖面作为固定初喷混凝土用。密网用两根φ8mm、长35cm的锚钉加以固定，也可用2根φ22mm的环向钢筋将网压紧在开挖面上，以防喷混凝土时钢丝网脱落。

⑨钻锚杆孔时，宜采用干钻。锚杆宜采用药包式或早强砂浆式锚杆。

⑩施工中如发现不安全因素时，应暂停开挖，加强临时支护，以便采取适应性的工序安排。

178.隧道发生岩爆有何特点?

答: 岩爆多发生在埋藏很深、整体、干燥和质地坚硬的岩层中。产生岩爆的时间，一般在开挖后几小时内，但也有的是在较长时间后发生。隧道中常遇见的岩爆以顶部或拱腰部位为多。

隧道内岩爆有如下特点：

①岩爆在未发生前并无明显的预兆，虽然经过仔细找顶，并无空响声。一般认为不会掉落石块的地方，也会突然发生岩石爆裂声响，石块有时应声而下，有时暂不坠下。在没有支撑的情况下，对施工安全威胁甚大。它与隧道施工中的一般掉块落石，在现象上有明显的不同。

②岩爆时，石块由母岩弹出，常呈中间厚、周边薄、不规则的片状。

③岩爆发生的地点，多在新开挖工作面及其附近，个别的也有距新开挖工作面较远；岩爆发生的时间，多在爆破后2~3h。

④在溶孔较多的岩层里，则不发生岩爆。

179.岩爆地段隧道施工有哪些注意事项?

答: ①如设有平行导坑，则平导应掘进超前正洞一定距离，以了解地质，分析可能发生岩爆的地段，以便正洞施工达到相应地段

时加强防卫,采取必要措施。

②使用光面爆破,并严格控制用药量,以尽可能减少爆破对围岩的影响。

③可选用预先释放部分能量的方法,如松动爆破法,超前钻孔预爆法,或喷射高压水冲洗法,先期将岩层的原始应力释放一些,以减少岩爆的发生。

④加强支护工作,支护的方法是在爆破后立即向拱部及侧壁进行喷射混凝土,再加设锚杆及钢丝网。衬砌工作要紧跟开挖工序进行,以尽可能减少岩层暴露时间,减少岩爆发生和确保人身安全。

180.造成隧道坍方的因素有哪些?

答:造成隧道坍方有地质因素,也有人为因素。其中地质因素有:

①隧道穿过断层及其破碎带,一经开挖,潜在应力释放,承压快、围岩失稳而坍塌。

②当通过各种堆积体时,由于结构松散,颗粒间无胶结或胶结差,开挖后引起坍塌。

③在挤压破碎带,岩脉穿插带、节理密集带等碎裂结构地层中,岩块间互相挤压钳制,一经开挖则失稳,常见围岩掉块、坍落。在软弱结构面发育的情况下,或泥质充填物过多,均易产生较大的坍塌。

④薄层岩体在构造运动的作用下形成的小褶曲、错动发育地段,施工中常常发生坍方。

⑤岩层软硬相间或有软弱夹层的岩体,在地下水的作用下,软弱面的强度大大降低,因而发生滑坍。

⑥地下水的软化、浸泡、冲蚀、溶解等作用加剧岩体的失稳和坍落。

造成隧道坍方的人为因素有:

①施工方法选择不当,或工序间距安排不合理。各工序间距

拉得较长，地层暴露时间过久，引起围岩松动、风化，招致坍方的发生。

②喷锚不及时，或喷混凝土质量、厚度不符合要求。

③采用钢支撑时，支撑架设质量欠佳，支撑与围岩不密贴，两者间的空隙填塞不密实，或联接不够牢固，不能满足围岩压力所需要的强度要求。

④有时抽换支撑操作不当，或者当支撑已出现受力过大的现象而未及时加固。

⑤爆破作业不当，用药量过多。

⑥处理危石措施不当，引起危石坠落，牵动岩层坍塌。

181.隧道坍方有哪些征兆和预防措施?

答:坍方前的征兆：

①量测信息所反应的围岩变形速度或数值超过允许值；

②喷射混凝土产生纵横向的裂纹或龟裂；

③在坑顶或坑壁发现不断掉下土块、小石块或构件支撑间隙不断漏出砂、石屑；

④岩层的层理、节理缝或裂隙变大、张开。

⑤支撑梁、柱变形或折断，楔子压扁压劈，填塞木弯曲折断，扒钉受力变形，木支撑发出"噼啪"破裂声。

⑥坑道内渗水、滴水突然加剧或变浑。

预防坍方的施工措施：

①先排水。在施工前和施工中均应采取相应的防排水措施，尽可能将坑外之水截于坑道之外。

②短开挖。各部开挖工序间的距离要尽量缩短，以减少围岩暴露时间。

③弱爆破。用浅、密炮眼，并严格控制用药量或用微差毫秒爆破。

④强支护。针对地压情况，确保支护结构有足够的强度。

⑤快衬砌。衬砌工作须紧跟开挖工作面进行，力求衬砌尽快

成环。

⑥勤检查、勤量测。对围岩发现有变形或异状，要立即采取有效措施及时处理隐患。

182. 处理隧道坍方需采取怎样的步骤？

答：坍方发生后，首先应防止坍方范围继续扩大，措施如下：

①在坍方范围的顶部与侧壁危石及大裂缝，应先行清除或锚固。

②加强原有支护。对坍方范围前后原有的支护进行加固，以防止坍方扩大。

③在坍方范围内架设支撑或喷射混凝土，必要时加设锚杆。

④加快衬砌。对坍方两端应尽快作好局部衬砌，以保证坍方不再扩大。

处理坍方通常采用的方法有：

①如坍方体积较小，且坍方范围内已进行喷锚或已架设好较为牢固的构件支撑时，可由两端或一端先上后下地逐步清除坍碴，随挖随喷射混凝土，随架设临时构件支撑支顶。

②如坍方体较大，或地表已下沉，或因坍体堵塞无法进入坍方范围进行支护时，则可注浆加固坍体，然后用"穿"的办法在坍体内进行开挖、衬砌。

183. 坍穴处理有哪些常用的方式？

答：喷锚处理。采用喷锚处理较大型的坍方，较之采用架设支撑，更加安全、快速，且省工省料。具体的施工措施：

①由外向内、由上而下，逐段随清坍碴随向岩壁先喷射一薄层砂浆，然后再喷射混凝土。混凝土宜分层喷射，每层厚 5cm 左右。

②喷射 1～2 层混凝土后，可随即加设锚杆再喷射混凝土。

③坍碴清除后，随即做好衬砌。

构件支撑处理。主要采用木支撑构件，构成斜、横、竖构架，支撑坍穴壁面，并永久的保留在坍穴内。具体的施工措施：

①在坍体不太高、坍穴略呈锥形、坍壁不太松散的情况下，使用人字架支撑。

②当坍体较高，但坍体两侧壁形状较整齐，且侧向压力不大时，可按垂直于隧道中线的方向架设横向排架。先将坍体顶的石碴扒平，铺上横梁，再在其上架设排架。排架间距根据坍穴围岩情况而定，一般为 1～2m 左右。须注意在排架间用剪刀撑撑稳，下部横梁要随坍碴的清除随时倒换撑稳。

③当坍方较大，且围岩压力也较大时，宜在坍方范围内全部用纵向棚架支撑。先将坍碴顶部适当扒平，沿隧道中线方向平行设置纵地梁数根(地梁下预铺横梁)，于纵地梁上按照导坑支撑的形式以 1m 左右的间距架设箱形棚架。以后逐层向上架设至坍方顶部，用填塞木塞紧。随着坍碴的清除，加设立柱，并以纵撑撑牢。

④当坍方直至地表而深度不大时(小于 10m)，可设置井箍。由地面向下逐步清除坍碴，随即架设箍架支撑。箍架的形式可为多边形、矩形或方形，视坍穴的形状而定，架距不大于 1m。当坍穴较深时，则可先将井口至坍碴顶面一段箍好，不进行清理坍碴，而在洞内采用穿过坍方的施工方法。如坍井较大，宜采用喷锚支护井壁的方法。

⑤当坍穴成斜孔时，处理方法根据斜度面定，倾角 $\leqslant 30°$ 时，可按斜井的施工方法进行出碴及支撑；倾角 $> 35°$ 时，运用井箍支撑及由上而下地清碴。

184.隧道坍方段怎样衬砌与回填?

答:坍方段衬砌施工措施：

①随着坍碴的逐渐清除，衬砌逐段推进，快速成环。最好由坍体的两端对向施工，随即回填密实。在坍穴最高处或两端衬砌接头处应预留回填及进出料孔。

②如坍方范围的围岩不够稳定，在处理坍方中有继续坍塌的可能时，可在坍方范围内选择适当位置做坍体护拱，以掩护施工操作。护拱上应以碎碴铺填 2m 厚左右作为缓冲层。

③如坍体未进行预先注浆加固而采用"穿过"的施工法时，拱脚处的衬砌圬工应加宽灌抵开挖轮廓壁（开挖轮廓不过大时），以便保证拱脚稳固。

坍体回填应做到：

①坍方清除坍碴后，则拱背应先以浆砌片石回填 2～3m 厚，其上再用干砌片石回填，回填高度应尽量填满坍方范围，坍体内木支撑应尽量拆除。

②在坍体的护拱与拱圈间应全部回填密实，坍体护拱以上回填厚度可根据具体情况而定，但不应小于 2m。

③如坍方范围高大，在坍穴内进行回填操作不便时，可选择适当位置另行开凿专供回填用的坑道。

④如坍方直达地表，除按规定做好拱部回填外，另用一般土石回填夯实至距地表 1～2m，再用粘土回填至略高于地表并向四周倾斜，周围做好排水沟。

参考文献

1 公路隧道设计规范(JTJ 026－90).北京:人民交通出版社,1990

2 公路工程技术标准(JTJ 001－97).北京:人民交通出版社,1997

3 公路隧道施工技术规范(JTJ 042－94).北京:人民交通出版社,1995

4 公路勘测规程(JTJ 061－99).北京:人民交通出版社,2000

5 铁路隧道设计规范(TB 10003－2001).北京:中国铁道出版社,2001

6 混凝土结构设计规范(GB 50010－2002).北京:中国建筑工业出版社,2002

7 砌体结构设计规范(GB 50003—2001).北京:中国建筑工业出版社,2001

8 公路桥涵地基与基础设计规范(JTJ 024－85).北京:人民交通出版社,1994

9 公路水泥混凝土路面设计规范(JTG D40－2002).北京:人民交通出版社,2002

10 公路水泥混凝土路面施工技术规范(JTG F30－2003).北京:人民交通出版社,2003

11 黄成光主编,于敦荣主审.公路隧道施工.北京:人民交通出版社,2001

12 覃仁辉主编,王成副主编,杨其新主审.隧道工程.重庆:重庆大学出版社,乌鲁木齐:新疆大学出版社,2001

13 于书翰,社谟远主编,周熹主审.隧道施工.北京:人民交通出版社,1999

14 王毅才主编.隧道工程.北京:人民交通出版社,2001
15 钟桂彤主编.铁路隧道.北京:中国铁道出版社,1987
16 兰州铁道学院主编.隧道工程.北京:人民铁道出版社,1977
17 吕康成.公路隧道运营设施.北京:人民交通出版社,1999
18 铁路工程施工技术手册—隧道(上、下册).北京:中国铁道出版社,1995
19 关宝树,麦惆曾译.《日本隧道标准规范(山岭篇)及解释》.成都:西南交大出版社,1998
20 公路隧道安全施工技术指南.铁道部科学研究院西南分院信息研究室译.2000
21 《铁路隧道技术规范》(合订本).北京:中国铁道出版社,1995
22 铁道部第二勘测设计院主编.铁路工程设计技术手册—隧道.北京:中国铁道出版社 1999
23 锚杆喷射混凝土支护技术规范(GB 50086—2001).北京:中国计划出版社,2001
24 王梦恕主编.大瑶山隧道.广州:广东科技出版社,1994
25 铁路隧道喷锚构筑法技术规则(TBJ 108—92).北京:中国铁道出版社,1992
26 郑颖人等编著.地下工程锚喷支护设计指南.北京:中国铁道出版社,1988
27 夏明耀,曾进伦主编.地下工程设计施工手册.北京:中国建筑工业出版社,2000

[General Information]
书名=隧道设计与施工百问
作者=
页数=382
SS号=11293490
出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录
正文